



普通高等教育“十二五”电子信息类规划教材

DSP原理 及实践应用

DSP YUANLI
JI SHIJIAN YINGYONG

◎主 编 曹 阳
◎副主编 王培容 黎 明



免费电子课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”电子信息类规划教材

DSP 原理及实践应用

主 编 曹 阳

副主编 王培容 黎 明

参 编 梁 快 包 明 施帮利

主 审 胡顺仁



机械工业出版社

本书内容包括：绪论、TMS320C54x 系列 DSP 的硬件结构、DSP 的集成开发环境 CCS、DSP 程序设计、数字信号处理算法的 DSP 实现、C54x 系列 DSP 的外设及应用和 DSP 系统的工程应用。编写按由浅入深，先易后难的原则，先介绍 CCS 环境及相关的汇编语言和 C 语言的程序设计，最后结合实例介绍相关的接口。本书强调内容的基础性，注重实践能力的提高，强调和数字信号处理课程的联系，培养学生的工程素养。

本书适合作为高等院校电子信息工程、通信工程、电气及自动化和生物医学工程等本科专业教材，也可作为及相关工程技术人员参考书目。

图书在版编目 (CIP) 数据

DSP 原理及实践应用/曹阳主编. —北京：机械工业出版社，2015. 1

普通高等教育“十二五”电子信息类规划教材

ISBN 978-7-111-48518-6

I. ①D… II. ①曹… III. ①数字信号处理—高等学校—教材
IV. ①TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 265929 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：刘丽敏 责任编辑：刘丽敏 王 荣

版式设计：霍永明 责任校对：肖 琳

封面设计：张 静 责任印制：刘 岚

涿州市京南印刷厂印刷

2015 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 14.5 印张 · 349 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-48518-6

定价：32.00 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

服务咨询热线：010-88379833

机工官网：www.cmpbook.com

读者购书热线：010-88379649

机工官博：weibo.com/cmp1952

教育服务网：www.cmpedu.com

封面防伪标均为盗版

金书网：www.golden-book.com

前 言

数字信号处理 (Digital Signal Processing, DSP) 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。20 世纪 60 年代以来, 随着计算机和信息技术的飞速发展, 数字信号处理技术应运而生并得到迅速的发展。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, 数字信号处理器以其独特的结构和快速实现各种数字信号处理算法的突出优点, 在通信、雷达、声呐、语音合成和识别、图像处理、高速控制、医疗设备、家用电器、仪器仪表等众多领域获得广泛的应用。在 21 世纪, 社会进入了数字化时代, 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。

为了能够适应 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。编者认为, 选择一种比较典型和先进的 DSP 芯片, 深入了解和掌握其结构、原理和应用, 对于 DSP 入门或者举一反三和掌握其他 DSP 芯片, 不能不说是一种较为行之有效的方法。当前对于 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相关方面课程。本书以美国 TI 公司推出的应用广泛的 TMS320C54x 系列 DSP 作为本书的描述对象, 并且结合多年来编者的教学经验和科研体会编写了本书, 用通俗易懂的语言引导读者学习 DSP 应用技术所设计的软硬件知识, 使广大读者掌握 TMS320C54x DSP 应用技术, 拓展读者学习的深度和广度。

本书具有以下特色:

(1) 本书的编写根据由浅入深, 先易后难的原则。如先介绍 CCS 环境及相关 C 语言的程序设计, 引发学生兴趣, 同时克服学生的畏难情绪, 最后结合实例介绍相关的接口部分。

(2) 内容注重基础性和实践性, 介绍 DSP 的结构与工作原理, 同时介绍应用程序设计的方法, 培养学生的工程素养。

(3) 强调和数字信号处理课程的联系。

全书共分为 7 章。第 1 章介绍 DSP 的定义、实现方法、分类、特点、系统构成和发展趋势。第 2 章介绍了 TMS320C54x 系列 DSP 的内部硬件资源, 包括总线结构、CPU、存储器、I/O 空间、中断系统、流水线和外部总线等。第 3 章介绍了当前较常用的 DSP 集成开发环境版本的安装和设置、应用界面及使用方法。第 4 章介绍了 TMS320C54x 系列 DSP 的寻址方式、指令表示方法和指令系统, 并用汇编语言和 C 语言编写了程序示例, 有利于读者对编写程序能力的提高。第 5 章介绍了利用 TMS320C54x 系列 DSP 实现数字滤波器、LMS 自适应滤波算法和快速傅里叶变换, 并给出了实现各种算法的 C 语言程序示例。第 6 章介绍了 TMS320C54x 系列 DSP 片内外设中定时器、主机接口、串行口的使用及 DMA 的控制与操作。第 7 章介绍了典型 DSP 应用系统的设计和实现。本书各章最后都有小结, 帮助读者加深对各知识点的理解, 并配有习题给读者更多的思考和启发。

本书由曹阳担任主编, 其中, 第 1 章由包明编写, 第 2 章由梁快编写, 第 3 章由黎明编写, 第 4 章和第 6 章由王培容编写, 第 5 章和第 7 章由曹阳编写。全书由曹阳统稿, 研究生

郭靖、杨家旺对本书的初稿进行了阅读，施帮利参加了本书部分程序的编写和调试。本书由胡顺仁教授担任主审，胡教授为本书提出了许多宝贵的修改意见，使我们获益菲浅。在本书的编写过程中，得到了单位和同事们的支持，参考了大量的文献及相关资料，在此一并表示由衷的感谢。

现代 DSP 器件和理论不断发展，相应的教学内容和方法也在不断改进，还需要进一步的深入探讨和学习。由于编者水平有限，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。

编者

目 录

前言

第1章 绪论 1

1.1 引言 1

1.1.1 DSP的定义 1

1.1.2 数字信号处理的实现方法 1

1.2 DSP芯片 2

1.2.1 DSP芯片的特点 2

1.2.2 DSP芯片的分类与选择 3

1.2.3 DSP芯片的发展趋势 5

1.3 DSP系统 6

1.3.1 DSP系统的构成 6

1.3.2 DSP系统的设计过程 7

1.3.3 DSP系统的特点 7

1.4 小结 8

思考题与习题 8

第2章 TMS320C54x系列DSP的硬件

结构 10

2.1 'C54x系列DSP的基本结构

和外部引脚 10

2.1.1 'C54x系列DSP的基本结构 10

2.1.2 'C54x系列DSP的引脚功能 12

2.2 'C54x系列DSP的内部总线

结构 16

2.3 存储器和I/O空间 17

2.3.1 存储空间的分配 17

2.3.2 程序存储器 19

2.3.3 数据存储器 22

2.3.4 I/O空间 23

2.4 中央处理单元 23

2.4.1 CPU状态和控制寄存器 23

2.4.2 算术逻辑单元 27

2.4.3 累加器A和B 28

2.4.4 桶形移位器 30

2.4.5 乘法器/加法器单元 31

2.4.6 比较、选择和存储单元 32

2.4.7 指数编码器 33

2.5 流水线操作 33

2.5.1 流水线操作组成 33

2.5.2 流水线冲突和解决办法 34

2.6 'C54x系列DSP的中断系统 36

2.6.1 中断寄存器 36

2.6.2 中断处理步骤 37

2.7 'C54x系列DSP的外部总线 39

2.7.1 外部总线的组成 39

2.7.2 外部总线等待状态控制 40

2.8 小结 42

思考题与习题 42

第3章 DSP的集成开发环境CCS 43

3.1 CCS简介 43

3.1.1 CCS的组成 43

3.1.2 CCS的主要功能 44

3.2 CCS的安装及功能介绍 45

3.2.1 CCS的安装 45

3.2.2 CCS的配置 49

3.2.3 CCS的启动及界面 54

3.2.4 CCS菜单 55

3.2.5 CCS工具栏 64

3.3 CCS程序开发的流程 66

3.3.1 CCS工程创建 66

3.3.2 编辑源文件 67

3.3.3 编译与链接 68

3.3.4 程序调试 68

3.4 DSP程序的调试方法 69

3.4.1 断点 69

3.4.2 探测点 71

3.4.3 图形分析窗口 73

3.4.4 观察窗口 74

3.4.5 时钟剖析	75	第5章 数字信号处理算法的 DSP	
3.5 DSP/BIOS 实时内核的应用	80	实现	150
3.5.1 DSP/BIOS 简介	80	5.1 数字滤波器的实现	150
3.5.2 建立 DSP/BIOS 配置文件	81	5.1.1 FIR 滤波器的基本结构	150
3.5.3 用 DSP/BIOS 工具创建应用		5.1.2 FIR 滤波器系数的 MATLAB	
程序	82	设计	150
3.5.4 DSP/BIOS 系统工具的使用	87	5.1.3 FIR 滤波器的 C 语言程序设计及	
3.6 小结	93	仿真	153
思考题与习题	93	5.2 LMS 自适应滤波算法的实现	157
第4章 DSP 程序设计	94	5.2.1 LMS 算法的原理	157
4.1 汇编语言的概述	94	5.2.2 LMS 算法的 C 语言程序设计及	
4.1.1 汇编语言的格式	94	仿真	161
4.1.2 汇编语言中的常数和字符串	95	5.3 快速傅里叶变换	164
4.2 'C54x 系列 DSP 的指令	95	5.3.1 FFT 算法的原理	164
4.2.1 汇编指令的寻址方式	95	5.3.2 FFT 的 C 语言程序设计及仿真	165
4.2.2 'C54x 系列 DSP 的汇编指令		5.4 小结	169
系统	103	思考题与习题	169
4.2.3 'C54x 系列 DSP 的伪指令	125	第6章 'C54x 系列 DSP 的外设及	
4.3 COFF 文件	132	应用	170
4.3.1 段	133	6.1 定时器	170
4.3.2 汇编器对段的处理	133	6.1.1 定时器的工作原理	170
4.3.3 链接器对段的处理	135	6.1.2 定时器的应用	172
4.3.4 链接器命令文件的编写	136	6.2 主机接口	174
4.3.5 链接器对程序的重新定位	138	6.2.1 HPI 的结构	174
4.4 'C54x 系列 DSP 的汇编程序		6.2.2 HPI 设计	175
设计	138	6.2.3 HPI 的应用	176
4.4.1 顺序结构程序	138	6.3 缓冲串行口	178
4.4.2 分支结构程序	139	6.3.1 标准同步串行口的结构和控制	
4.4.3 循环结构程序	140	寄存器	178
4.4.4 子程序结构	141	6.3.2 BSP 的结构和控制寄存器	180
4.5 'C54x 系列 DSP 的 C 语言程序		6.3.3 BSP 的应用	182
设计	142	6.4 DMA 的控制与操作	183
4.5.1 C 语言的数据访问方法	142	6.4.1 DMA 控制器的工作原理	183
4.5.2 C 编译器生成的段	145	6.4.2 DMA 控制器的应用	184
4.5.3 C 语言和汇编语言的混合		6.5 小结	185
编程	145	思考题与习题	186
4.5.4 C 语言源程序设计实例	146	第7章 DSP 系统的工程应用	187
4.6 小结	148	7.1 'C54x 系列 DSP 与存储器及外部	
思考题与习题	149		

设备的接口方法	187	7.3.1 液晶显示器的应用	190
7.2 'C54x 系列 DSP 与慢速器件的		7.3.2 普通语音 A-D 与 D-A 转换	
接口方法	188	实验	202
7.2.1 软件等待状态设置	188	7.3.3 数字图像基本处理实验	216
7.2.2 硬件等待状态设置	190	7.4 小结	223
7.3 TMS320C5416 实验系统的		思考题与习题	223
应用	190	参考文献	224

第 1 章 绪 论

本章主要分为 3 个部分, 首先介绍数字信号处理的定义以及它的实现方法; 然后介绍 DSP 芯片的特点、分类和 DSP 在当今社会的发展趋势, 通过这部分的学习, 先让读者对 DSP 芯片有一个清晰的了解, 然后再让读者继续深入地学习 DSP; 最后重点介绍 DSP 系统, 了解 DSP 系统的构成、设计过程和特点。

1.1 引言

数字信号处理 (Digital Signal Processing, DSP) 是一个发展极为迅速的科学技术领域, 是广泛应用于许多领域的新兴学科。它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, 以得到符合人们需要的信号形式并进行有效的传输与应用。计算机技术、微电子技术的迅猛发展, 将数字信号处理技术的发展推向了高潮。

1.1.1 DSP 的定义

简单地说, 数字信号处理就是用数值计算的方式对信号进行加工的理论和技术, 简称为 DSP。另外, DSP 也是 Digital Signal Processor 的简称, 即数字信号处理器。其工作原理是接收模拟信号, 转换为 0 或 1 的数字信号, 再对数字信号进行修改、删除、强化, 并在其他系统芯片中把数字数据解译回模拟数据或实际环境格式。它不仅具有可编程性, 而且其实时运行速度可达每秒数以千万条复杂指令程序, 远远超过通用微处理器, 是数字化电子世界中日益重要的计算机芯片。它的强大数据处理能力和高运行速度, 是最值得称道的两大特色。正是因为这些特色, DSP 可以快速地实现对信号的采集、滤波、变换、压缩、估值、增强、识别等处理, 以得到符合人们所需要的信号形式。数字信号处理的实现在理论和应用之间架起了一座桥梁, 给信号处理的应用打开了新的局面。

1.1.2 数字信号处理的实现方法

数字信号处理一般由以下几种方法来实现。

- (1) 在通用的计算机上用软件实现数字信号处理。
- (2) 在通用的计算机系统中加上专用的极速卡来实现数字信号处理。
- (3) 利用单片机实现数字信号处理。单片机是将组成计算机的基本部件集成在一块晶体芯片上, 构成一台功能独特的、完整的单片微型计算机。因此具有结构简单、可靠性高、低功耗、性价比高等优点; 但单片机的速度慢、功能弱、精度低, 只使用在数据运算较小的场合。

(4) 用可编程 DSP 芯片实现数字信号处理: 对于数据运算较大的场合, 使用 DSP 芯片进行数字信号处理更合适。这是因为 DSP 芯片有更快的 CPU、更大容量的存储器和专用的

硬件乘法器，使 DSP 芯片拥有高速的数据运算能力，更适合用于海量数据处理。

(5) 用可编程阵列器件 (FPGA) 实现数字信号处理：随着数字系统规模和复杂度的增长，目前常用的可编程阵列器件 (FPGA) 主要是 Altera、Xilinx、Lattice 公司的产品。FPGA 中的寄存器资源比较丰富，适合同步时序电路较多的数字系统。

在以上的实现方法中，利用可编程阵列器件 (FPGA) 为数字信号处理的实现打开一个崭新的局面。未来，将 FPGA 和 DSP 相结合将会是一个重要的发展方向。

1.2 DSP 芯片

DSP 芯片的操作灵活性高、速度快，是一种特别适合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。它具有高级的改进哈佛结构 (1 条程序存储器总线、3 条数据存储总线和 4 条地址总线)、带有专用逻辑功能的 CPU、片内存储器、片内外设和高度专业化的指令集。这些产品已经并且将来也会继续得到发展，为电子市场上的专门领域服务。

1.2.1 DSP 芯片的特点

DSP 芯片之所以特别适合数字信号处理运算，是因为其在硬件结构和软件指令系统中具有以下一些特点，现在以 TI 公司的产品为例进行说明。

1. 改进的哈佛结构

传统的微处理器采用的是冯·诺依曼 (Von Neumann) 结构，它将指令和数据存放在同一存储空间当中，进行统一编址，指令和数据通过同一总线访问同一地址空间上的存储器。而 DSP 芯片采用的是哈佛结构而不是冯·诺依曼结构的一种并行体系结构，其主要特点是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，每个存储器独立编制、独立访问，增强了芯片数据调用的灵活性。与之相对应的是系统中设置的两条总线使数据的吞吐率提高了一倍。同时改进的哈佛结构允许指令可以存储在高速缓存器中 (Cache)，省去了从存储器中读取指令的时间，因而大大提高了运行速度。

2. 流水线型操作

基本指令分为 4 级：取址、译码、读和执行。当处理器并行处理 4 条指令时，各条指令处于流水线的不同单元。在不发生流水线冲突的情况下，具有流水线结构的处理器的长时间执行效率接近于没有流水线结构的处理器的 4 倍。因此，DSP 芯片广泛采用流水线操作以减少指令执行的时间，增强处理器的处理能力。而在 TMS320C54x 系列 DSP 中采用了 6 级流水线，现在的 TMS320C6000 系列 DSP 中深度更是达到了 8 级。同时，可以并行运行的指令的条件在不断降低，指令的范围在不断地扩大。这样提高了 TMS320 系列 DSP 的数据处理能力。图 1-1 给出了一个三级流水线操作的例子。

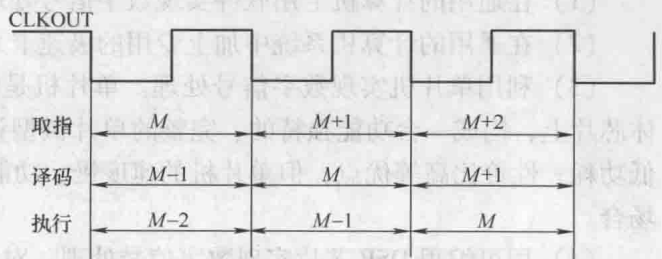


图 1-1 三级流水线操作

3. 存储器

存储器具有 192K 字可寻址存储空间（包括 64K 字程序存储空间、64K 字数据存储空间和 64K 字 I/O 空间）。其中，TMS320C548、TMS320C549、TMS320C5402、TMS320C5410 和 TMS320C5420 等 DSP 的程序存储空间还可以扩展到 8M 字。片内存储器配置因型而异。

4. 采用专用的硬件乘法器

在通用微处理器中算法指令需要多个指令周期，如 MCS-51 单片机的乘法指令需要 4 个周期。相比而言，DSP 芯片有一个专用的硬件乘法器，乘法可在一个指令周期内完成，还可以与加法并行输出，完成一个乘法和加法只需一个周期。这就使得在 DSP 芯片中，乘法运算可以在一个指令周期内完成。在 TMS320C6000 系列 DSP 中，甚至存在有两个硬件乘法器。

5. 高度专业化的指令集

DSP 芯片的指令集能够快速地实现算法并用于高级语言编程优化。其高度专业化的指令集包括单指令重复和块指令重复；用于更好地管理程序存储器和数据存储器的块移动指令；32 位长整数操作指令；指令同时读取 2 个或 3 个操作数；并行存储和加载的算术指令；条件存储指令和快速中断返回。

6. 快速的指令周期

随着微电子技术、大规模集成电路优化设计技术的不断发展，使得 DSP 芯片的主频水涨船高，目前 TMS320C64xx 系列 DSP 的最高主频已经发展到了 720MHz，使得一个指令周期达到了 1.4ns，数据处理能力提高了几十倍，甚至上百倍。而 TMS320C54x 系列 DSP 执行单周期定点指令的时间达到了 25ns、20ns、15ns、12.5ns、10ns，运算速度为 40MIPS、66MIPS、100MIPS。

7. 功耗低

TMS320C54x 系列 DSP 的电源由 IDLE1、IDLE2 和 IDLE3 功耗下降指令控制功耗，以便 DSP 工作在节电模式下，使之更适用于手机。其控制 CLKOUT 引脚的输出，省功耗。

1.2.2 DSP 芯片的分类与选择

现在，世界上的 DSP 芯片有三百多种，其中定点 DSP 芯片就有两百多种，主要厂家除了 TI 公司外，其他具有代表性的公司还有美国模拟器件（Analog Devices, AD）公司、Lucent 公司、LSI Logic 公司以及 Motorola 公司。其中 TI 公司的 DSP 产品占了市场份额的 50%。所以，这里以 TI 公司的 DSP 芯片为主进行分类。人们将市场的 TI 公司 DSP 芯片系列产品分为三类，即 TMS320C2000 系列、TMS320C5000 系列和 TMS320C6000 系列。

1. TMS320C2000 系列

TMS320C2000 系列 DSP 专用于数字控制（如电动机控制、电源控制）和运动控制，主要包括 TMS320C24x/F24x、TMS320LC240x/LF240x、TMS320LC240xA/LF240xA、TMS320F28xx 等。C24x 系列 DSP 面向控制应用场合进行了优化，其运算速度为 20~40MIPS，LF24xx 系列比 C24x 系列价格便宜，性能更好。C28xx 系列 DSP 主要用于像数字电动机控制、数字电源这样的大存储设备和高性能的场所。

2. TMS320C5000 系列

TMS320C5000 系列 DSP 主要包括 C54x 系列和 C55x 系列。其中 C54x 系列 DSP 具有功耗

小, 高度并行等优点, 可以满足电信等众多领域的实时处理的要求。C55x 系列 DSP 是 TI 公司最新推出的定点 DSP 芯片, 它比 C54x 系列 DSP 的性能有很大提高, 而且功耗大大降低, 是目前 TI 公司推出的功率最小的 DSP 芯片, 适用于便携式超低功率场合。两者主要用于高性能、低功耗的场合, 是目前用户最多的 DSP 芯片。

3. TMS320C6000 系列

TMS320C6000 系列 DSP 是 TI 公司推出的定点浮点兼容的 DSP 芯片。其中定点 DSP 芯片是 TMS320C62xx 系列, 目前有 C6201、C6202、C6203、C6204、C6205 和 C6211。浮点 DSP 芯片是 TMS320C67xx 系列, 目前有 C6701 和 C6711 两种, 支持 32 位单精度数据和 64 位双精度数据, 主要应用于高性能、多功能的复杂应用场合, 如移动通信基站、电信基础设施和成像应用等。定点 DSP 芯片和浮点 DSP 芯片因为它们有着各自的特点, 都有着广泛的市场。定点 DSP 芯片有运算精度较低和动态范围较小的不足, 但是有着价格低廉的优势; 而浮点 DSP 芯片主要广泛应用于高性能实时处理系统。

设计 DSP 应用系统、选择 DSP 芯片是一个非常重要的环节。只有选定了 DSP 芯片才能进一步设计外围电路及系统的其他电路。总的来说, DSP 芯片的选择应根据实际的应用系统需要而确定。一般来说, 选择 DSP 芯片时, 通常会考虑以下几个因素:

(1) 运算速度

首先要确定数字信号处理的算法, 算法确定以后其运算量和完成时间也就大体确定了。根据运算量及其时间要求就可以估算 DSP 芯片运算速度的下限。运算速度的主要衡量指标主要有 MIPS (每秒处理的百万级的机器语言指令数)、MOPS (每秒百万次运算)、Mbit/s (兆位每秒)、MACS (乘加次数每秒) 等。

(2) 运算精度

一般情况下, 浮点 DSP 芯片的运算精度要高于定点 DSP 芯片的运算精度, 但是功耗和价格也随之上升。定点 DSP 芯片主频高、速度快、成本低、功耗小, 主要用于计算复杂度不高的控制、通信、语音和图像等领域。浮点 DSP 芯片的速度一般比定点 DSP 芯片的处理速度低, 其成本和功耗都比定点 DSP 芯片高, 但是其处理精度、动态范围都高于定点 DSP 芯片, 适用于运算复杂度高和精度要求高的场合。因此, 运算精度是一个折中的问题, 需要根据经验等来确定一个最佳的结合点。

(3) 字长的选择

一般浮点 DSP 芯片采用 32 位数据字, 大多数定点 DSP 芯片采用 16 位数据字。字长大小是影响成本的重要因素, 它影响芯片的大小、引脚数以及存储器的大小, 设计时在满足性能指标的条件下, 尽可能选用最小的数据字。

(4) 存储器等片内硬件资源安排

片内硬件资源包括存储器的大小、片内存储器的数量、总线寻址空间等。片内存储器的大小决定了芯片运行速度和成本, 不同种类芯片存储器的配置等硬件资源各不相同。通过对算法程序和应用目标的仔细分析可以大致判定对 DSP 芯片片内资源的要求。几个重要的考虑因素是片内 RAM、ROM 的数量, 有无外扩存储器, 总线接口/中断/串行口等是否够用, 是否具有 A-D 转换等。

(5) 开发调试工具

完善、方便的开发工具和相关支持软件是开发大型、复杂 DSP 系统的必备条件, 对缩

短产品的开发周期和提高开发效率具有重要作用。开发工具包括硬件和软件两部分。

(6) 价格和售后服务

采用昂贵的 DSP 芯片, 就算它的性能再高, 但是其自身的应用范围也肯定会受到一定的限制。相反, 采用价格低廉的 DSP 芯片, 由于其功能少、性能差、片内存储器少, 这就给编程带来了一定的难度。因此, 人们在选择 DSP 芯片时要根据实际系统的应用情况, 确定一个合适的价位。除此之外, 还要考虑售后服务, 因为良好的售后技术支持也是重要的资源。

1.2.3 DSP 芯片的发展趋势

在 DSP 芯片问世之前, 数字信号的处理主要依靠微处理器 (MPU) 来完成。但 MPU 较低的处理速度无法满足高速实时的要求。随着大规模集成电路技术的发展, 1978 年世界上诞生了首枚 DSP 芯片——AMI 公司的 S2811。1979 年美国 Intel 公司生产了商用可编程器件 2920。1980 年, 日本 NEC 公司推出了 μ PD7720, 1981 年美国贝尔实验室推出了 DPSI 与 μ PD7720 的 DSP 处理器。

DSP 芯片真正得到广泛应用是 1982 年美国德州仪器 (Texas Instruments, TI) 公司成功地推出了 DSP 芯片的一系列产品。TMS320 系列 DSP 中第一代定点 DSP 产品——TMS320C10, 采用微米工艺, NMOS 技术制作, 运算速度比 MPU 快几十倍, 在语音合成和编解码器中得到广泛应用。TMS320C10 成为后续的 TMS320 系列 DSP 的模型。TI 公司的 TMS320 系列 DSP 产品已经成为当今世界上最有影响力的 DSP 芯片, TI 公司已经成为世界上最大的 DSP 芯片供应商。

第二代 DSP 芯片的典型代表是 TMS320C20、TMS320C25/26/28。其中, TMS320C25 是典型的代表, 其他芯片都是 TMS320C25 派生出来的。TMS320C2xx 系列 DSP 是第二代 DSP 芯片的改进型, 其指令周期最短为 25ns, 运算能力达 40MIPS。

第三代 DSP 芯片是 TMS320C3x 系列 DSP, 包括 TMS320C30/31/32, 它也是第一代浮点 DSP 芯片。TMS320C31 是 TMS320C30 的简化和改进型, 它在 TMS320C30 的基础上去掉了一般用户不常用的一些资源, 降低了成本, 是一个性价比较高的浮点 DSP 处理器。TMS320C32 是 TMS320C31 的进一步简化和改进。

第四代 DSP 芯片是专门为实现并行处理和满足其他一些实时应用的需求而设计的, 其典型代表是 TMS320C40/44。它的主要性能包括 275MOPS 的惊人速度和 320MB/s 的吞吐量。

第五代 DSP 芯片有 TMS320C5x/C54x/C55x 系列 DSP 和多处理器 DSP 芯片 TMS320C80/C82, 这些是第三代定点 DSP 处理器。TMS320C54x 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, 主要应用于无线通信系统中。其指令系统与 TMS320C5x 和 TMS320C2x 系列 DSP 是互补兼容的。

第六代 DSP 芯片有 TMS320C62x/C67x 系列 DSP 等。TMS320C62x 系列 DSP 是 TI 公司于 1997 年开发的一种新型定点 DSP 芯片。芯片内部的结构与前几代 DSP 芯片的内部结构不同, 在这类芯片的内部集成了多个功能单元, 运行速度快、指令周期短、运算能力得到很大提高, 主要适用于无线基站、组合 MODEM、GPS 导航等需要很大运算能力的场合。

目前 TI 公司常用的 DSP 芯片可以被归纳为三大系列, 即 TMS320C2000 系列 (包括 TMS320C2x/C2xx)、TMS320C5000 系列 (包括 TMS320C5x/C54x/C55x) 和 TMS320C6000 系列 (包括 TMS320C62x/C67x)。现在, TI 公司的 DSP 产品已经成为当今世界上较有影响力的 DSP 芯片, 其 DSP 市场份额占比较大。图 1-2 给出了 TI 公司的 TMS320 系列 DSP 的发展示意图。

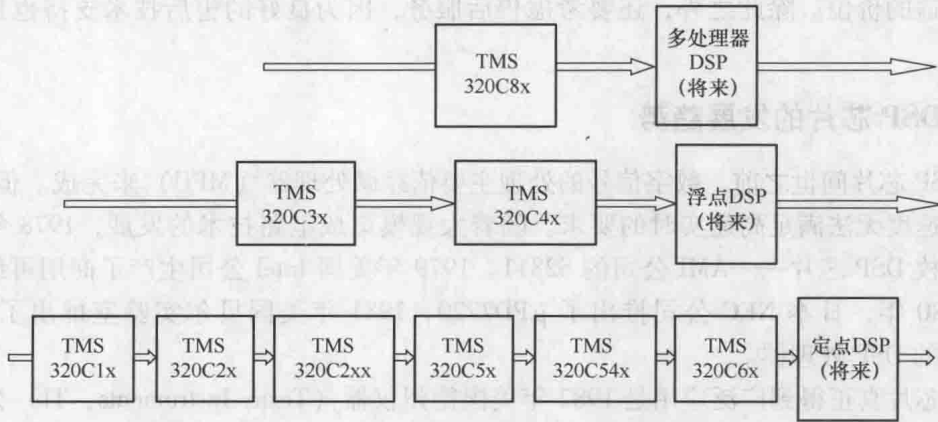


图 1-2 TMS320 系列 DSP 的发展示意图

在浮点 DSP 芯片方面, 世界上第一个采用 CMOS 工艺生产的浮点 DSP 芯片是日本的 Hitachi 公司 1982 年生产的。而第一个高性能浮点 DSP 芯片则是 AT&T 公司于 1984 年推出的 DSP32。TI 公司的浮点 DSP 芯片有 TMS320C3x、TMS320C4x 和 TMS320C67x 系列 DSP 等。DSP 处理器未来发展的趋势是发展高速和高性能 DSP 器件、高度集成化、低功耗低电压、开发专用 DSP 芯片、提供更加完善的开发环境、扩大应用领域。

1.3 DSP 系统

随着计算机技术、微电子技术的迅猛发展, 数字信号处理技术也得到了很大的发展。它的应用领域也越来越广, 以数字信号处理器为核心的数字信号处理系统已经在通信、语音识别与处理、图像处理、通信、自动控制、军事、仪器仪表、医学工程、家用电器和汽车等领域得到了广泛的应用。

1.3.1 DSP 系统的构成

一个典型的数字信号处理系统应包括抗混叠滤波器、A-D 转换器、数字信号处理器 (DSP)、D-A 转换器和低通滤波器等。图 1-3 就是一个典型的数字信号处理系统的简化框图。

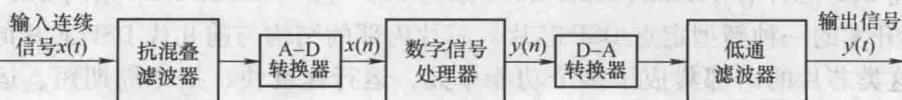


图 1-3 数字信号处理系统的简化框图

数字信号处理系统的工作过程如下：将输入的连续信号 $x(t)$ 经过抗混叠滤波器，滤掉高于折叠频率的分量，防止信号频谱的混叠，然后通过 A-D 转换器，对连续信号进行抽样、量化和编码，将滤波后的连续信号变为数字信号 $x(n)$ ；在转换的过程中，为了能够使转换的信号无失真地还原原来的信号，抽样的频率应该满足奈奎斯特抽样定理，即抽样频率至少是输入带限信号最高频率的两倍；再将数字信号 $x(n)$ 由 DSP 芯片进行处理得到数字信号 $y(n)$ ；经过处理后的数字信号 $y(n)$ 再由 D-A 转换器将 $y(n)$ 转换成模拟信号；最后通过低通滤波器，滤除高频分量，得到平滑的模拟信号 $y(t)$ 。该系统是一个典型的数字信号处理系统。

1.3.2 DSP 系统的设计过程

设计一个 DSP 系统主要包括以下几个步骤：

1. 明确设计任务和确定设计目标

在设计一个 DSP 系统时，人们必须明确设计任务和确定设计目标。根据应用系统的目标来确定系统的各项性能指标以及信号处理的要求，如运算速度、运算精度、存储器片内硬件资源等。

2. 算法模拟

为了实现系统的最终目标，需要对输入信号进行适当的处理，但是不同的处理方法会产生不同的系统性能。为了能够使系统性能满足人们的目标，就必须在这一步确定对信号处理的算法，即数字信号处理算法。

3. 选择 DSP 芯片和外围芯片

明确了设计目标之后，人们就可以根据系统的各项性能指标来确定合适的 DSP 芯片和外围芯片使系统能够实现信号处理的要求。

4. 设计实时的 DSP 芯片系统

实时 DSP 芯片系统主要包括硬件设计和软件设计。硬件设计就是根据确定的 DSP 芯片和外围芯片设计外围电路和其他电路。软件设计就是根据系统要求和确定的 DSP 芯片编写相应的 DSP 汇编程序。

5. 硬件和软件调试

硬件调试一般采用硬件仿真器进行调试，如果没有相应的硬件仿真器，且硬件系统不是十分复杂，也可以借助于一般的工具进行调试。软件调试一般借助于 DSP 开发工具，如软件模拟器、DSP 开发系统或仿真器等。

6. 系统集成和测试

软硬件设计、调试完成之后，即进行系统集成。所谓系统集成是先将软件程序固化，再将软硬件结合起来组装成一台样机。

系统完成集成之后进行系统测试。系统测试将软件脱离开发系统直接应用系统上运行，在真实环境中完成系统的测试，查看测试结果是否满足人们的设计目标。如果不满足，就需要重新修改算法或重新进行调试，直到最后的测试结果能够满足人们的要求。

1.3.3 DSP 系统的特点

数字信号处理系统是以数字信号处理为基础的系统，因此数字信号处理系统具有以下一

些明显的特点。

1. 稳定性好

模拟系统的元器件都有一定的温度系数,因此受到像温度、噪声、电磁感应等因素的影响是很大的。相反,DSP 系统是以数字处理为基础,并且数字系统只有两个信号电平——0 和 1,电压容差范围较大,所以受到外界的环境因素(像温度、噪声)的影响很小。所以 DSP 系统拥有更好的稳定性。

2. 精度高

与通常的模拟元器件的精度相比,数字系统只要 16 位就可以达到 10^{-5} 级的精度,而通常的模拟元器件的精度很难达到 10^{-3} 以上。所以以数字处理为基础的 DSP 系统拥有更高的精度。

3. 灵活性高或可重复性

通常模拟系统的性能受到元器件参数性能的变化比较大,而在数字信号处理系统中,数字信号处理系统的性能是由乘法器的系数来决定的,而这些系数是存放在系数存储器中的。因此,根据人们的需要,只需要改变存储器当中的系数就可以得到满足人们需要的数字系统。这比改变硬件电路结构来改变模拟系统要方便得多,也就是说数字系统具有更高的灵活性或可重复性。所以,数字系统更加便于调试、测试和大规模生产。

4. 集成方便

对于数字系统中的数字部件都有高度的规范性,所以更加适合成批生产和集成化。

但是数字信号处理系统也有其自己的缺点。例如,数字系统的速度还不算高,在海量数据处理时会增加成本;在 DSP 系统中的高速时钟可能带来高频干扰和电磁泄漏等问题;DSP 系统需要很大的功耗。

虽然数字信号处理系统存在着上述的缺点,但是因为它的突出优点已经在通信、语音、雷达、生物医学、工业控制和仪器仪表等领域中得到越来越多的广泛应用。

1.4 小结

本章对数字信号处理和数字信号处理器的基本知识点进行了阐述,首先对什么是数字信号处理(DSP)的定义进行了阐述,阐述了几种实现数字信号处理的方法。然后详细介绍了数字信号处理的特点、分类和 DSP 的选择要求,并对数字信号处理器在国内外的发展现状和发展趋势进行了论述,还论述了 DSP 应用的领域。最后介绍了 DSP 系统构成和设计过程。通过本章的学习,要求读者了解 DSP 的技术,掌握数字信号处理器的结构特点、分类及其在各个领域中的应用,使读者对数字信号处理的基础知识、数字信号处理器的基础特性有一定的了解,为后续各章内容奠定一定的基础。

思考题与习题

1. 简述 Digital Singal Processing 和 Digital Singal Processor 之间的区别和联系。
2. 什么是 DSP 技术?
3. 数字信号处理的实现方法主要有哪些?
4. DSP 芯片的特点都有哪些?

5. 什么是哈佛结构和冯·诺依曼结构？它们有什么区别？
6. DSP 可以按几种方式进行分类？
7. 什么是定点 DSP 和浮点 DSP？各有什么运用？
8. DSP 的发展趋势主要体现在哪些方面？
9. 一个典型的数字信号处理系统都由哪些部分构成，功能是什么？

德州仪器公司推出的 16 位定点数字信号处理器 DSP 系列 C24x 系列 DSP 芯片，如早期的 C241、C242、C243、C244、C245、C246、C248、C249，以及后来推出的新产品 C2403、C2410 和 C2430 等。本章将以 TMS320C2403 芯片为例，介绍其基本结构、中央处理器、存储器、I/O 空间以及中断系统。此外，还将介绍 DSP 芯片在数字信号处理系统中的应用。

2.1 C24x 系列 DSP 的基本结构和外部引脚

TMS320C24x (简称 C24x) 系列 DSP 芯片是由德州仪器公司推出的 16 位定点数字信号处理器。它具有高性能、低功耗、低成本等特点，广泛应用于语音处理、图像处理、通信、控制等领域。本章将详细介绍 C24x 系列 DSP 芯片的基本结构和外部引脚。

- (1) CPU (中央处理器)：用于执行指令和处理数据。它包括 16 位累加器、16 位寄存器、16 位 ALU 和 16 位乘法器。
- (2) 存储器：包括 16K 字节的程序存储器 (PM) 和 16K 字节的随机存取存储器 (RAM)。此外，还有 16K 字节的 I/O 空间。
- (3) 地址生成器：用于生成指令和数据地址。它包括 16 位地址寄存器、16 位地址锁存器和 16 位地址计数器。
- (4) 片内外设：包括定时器、计数器、比较器、ADC、DAC、I/O 控制器等。这些外设可以通过片内外设总线与 CPU 接口。
- (5) TMS320C24x 芯片的功耗非常低，典型功耗为 25mW (1.5V, 20MHz)。这使得它非常适合用于低功耗应用。
- (6) TMS320C24x 芯片具有多种低功耗模式，包括 IDLE1、IDLE2 和 IDLE3。在这些模式下，芯片的功耗可以进一步降低。
- (7) 芯片的 JTAG 接口符合 IEEE1149.1 标准。这使得用户可以通过 JTAG 接口对芯片进行编程和调试。

2.1.1 C24x 系列 DSP 的基本结构

TMS320C24x 系列 DSP 芯片的基本结构如图 2-1 所示。它主要由 CPU、存储器、地址生成器、片内外设和 I/O 接口组成。CPU 是芯片的核心，负责执行指令和处理数据。存储器用于存放程序和数据。地址生成器用于生成指令和数据地址。片内外设包括定时器、计数器、比较器、ADC、DAC 等。I/O 接口用于与外部设备通信。此外，芯片还具有低功耗模式和 JTAG 接口。