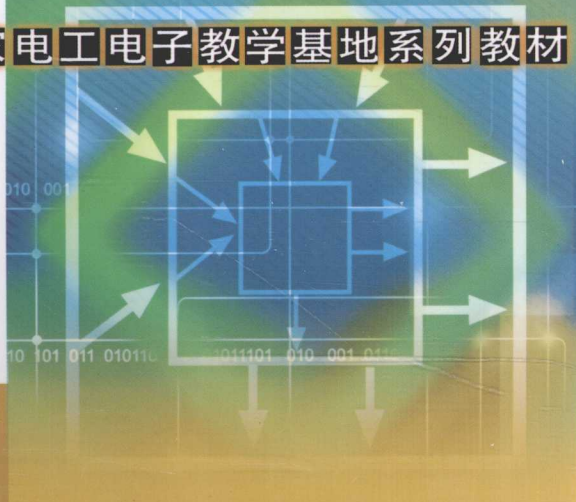
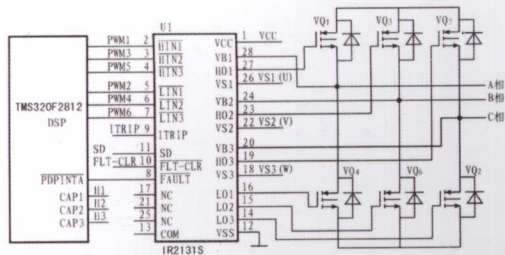




普通高等教育“十一五”国家级规划教材



国家电工电子教学基地系列教材



DSP 技术及其应用

第2版)

◎ 钱满义 高海林 编著 ◎ 陈后金 主审



清华大学出版社
<http://www.tup.com.cn>



北京交通大学出版社
<http://www.bjtu.com.cn>

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
国家电工电子教学基地系列教材

DSP 技术及其应用

(第 2 版)

钱满义 高海林 编著
陈后金 主审

清华大学出版社
北京交通大学出版社

内 容 简 介

本书以 TI 公司的 TMS320C5000 DSP 芯片 TMS320VC5502 为基础, 以实验方式论述了 DSP 开发流程和信号采集与处理的方法, 特别是如何使用 C 语言编和汇编混合写 DSP 的应用程序。本书共分 8 章: 第 1、2 章介绍了 DSP 的发展、原理结构及片上外设; 第 3 章介绍了由北京交通大学电信学院国家工科电工电子教学基地自行研制的 BJTU-DSP5502 实验系统和 DSP 硬件电路的设计; 第 4、5 章介绍了 DSP 的 C 语言编程和 CCS 集成开发环境的使用; 第 6 章为 DSP 实验指导, 以 Simulator 和 BJTU-DSP5502 板为基础, 针对 TMS320VC5502 DSP, 设计了一些典型信号处理实验, 对每个实验的原理进行了分析, 部分实验还给出了 Matlab 仿真, 每个实验都给出了 C 语言的详尽的参考源程序和注释, 介绍一个或多个 DSP 或板上资源, 以及如何使用这些资源, 还介绍了利用 DSP 进行信号处理中的一些常见困扰的问题; 第 7 章是 DSP 综合设计应用实例; 第 8 章是 DSP 课程设计参考题目。本书提供的 CCS 调试实验和信号处理与传输实验, 可以帮助读者快速理解和掌握 DSP 技术。

本书可作为高等院校工科电子类专业本科生和研究生的 DSP 系统学习教材, 也可供从事 DSP 技术开发的工程技术人员和高等学校的教师阅读参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签, 无标签者不得销售。

版权所有, 侵权必究。侵权举报电话: 010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

DSP 技术及其应用 / 钱满义, 高海林编著. —2 版. —北京: 北京交通大学出版社: 清华大学出版社, 2015.7

(国家电工电子教学基地系列教材)

ISBN 978-7-5121-2339-7

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 181034 号

责任编辑: 韩 乐 特邀编辑: 李晓敏

出版发行: 清华大学出版社 邮编: 100084 电话: 010-62776969

北京交通大学出版社 邮编: 100044 电话: 010-51686414

印刷者: 北京时代华都印刷有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185×230 印张: 20 字数: 412 千字

版 次: 2015 年 7 月第 2 版 2015 年 7 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5121-2339-7/TN·101

印 数: 1~3 000 册 定价: 38.00 元

本书如有质量问题, 请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评, 我们表示欢迎和感谢。

投诉电话: 010-51686043, 51686008; 传真: 010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

前 言

近年来, 数字信号处理技术获得了迅猛发展, 以数字信号处理理论为基础, 数字信号处理器 (DSP) 在控制、医疗设备、消费电子、军事等很多领域都得到了广泛的应用。

得州仪器 (TI) 公司 TMS320 系列数字信号处理器品种齐全, 技术先进, 在全球市场占有率有超过半数的份额, 并且与国内许多大学建立了 DSP 联合实验室, 各实验室得到了 TI 公司技术资料和实验设备的大力支持。TMS320C5000 系列 DSP 功能强大, 对 C/C++ 类库提供更好的支持, 方便算法的移植与评估, 在信号处理与传输等方面有专门的接口。因此 DSP 广泛应用于通信、语音信号处理、航空航天等复杂大量数据处理领域。

经过多年教学和实践的摸索, 编者把近年来积累的 DSP 教学经验加以总结, 形成了一套适合学生学习使用的教学资料。在原有的 C54x DSP 教学取得良好效果的基础上, 自行设计开发了一套基于 C55x DSP 的信号处理工具箱 BJTU-DSP 5502。C55x DSP 是 C5000 系列新一代产品, 与 C54x DSP 的源代码兼容。而与 C54x DSP 相比, C55x DSP 速度得到提高而功耗却大大降低, 如 300MHz 的 C55x DSP 与 120MHz 的 C54x DSP 相比, C55x DSP 速度比 C54x DSP 速度提高了 5 倍, 而功耗只有 C54x DSP 的六分之一。

学习本课程最好先修电路分析、数字电子技术、微机原理与接口技术、数字信号处理、C 语言、Matlab 语言等课程。学习 DSP 涉及的知识和工具较多, 但本书只强调信号处理的 DSP 实现, 而不强调理论和算法; 对于 DSP 编程语言, 强调 C 语言编程, 不强调汇编编程。本书试图回避冗长的阐述, 以 DSP 在信号处理中的基本应用为线索, 为学生提供易于阅读、可操作性强的参考教材和资料。本书强调以 CCS 基础实验为例, 循序渐进地学习 DSP 的基本操作, 以基本信号处理实验为例, 介绍利用 DSP 进行信号采集与处理的基本方法。

本书所采用的 DSP 实验, 力求做到实验目的明确, 每个实验都涉及新的 DSP 资源, 做到尽量不浪费篇幅。考虑到用户的便利性, 实验将软件仿真 (Simulator) 和硬件仿真 (Emulator) 相结合, 因为不是每次做 DSP 实验都需要 DSP 硬件板, 有的实验可以在计算机上利用 CCS 自带的仿真软件 Simulator 上进行实验仿真, 涉及硬件的实验, 其算法验证通过后再将程序插入 DSP 硬件实验模块中。DSP 实验难度由简到难, 非常适合自学。有的实验所涉及的数据需要利用其他软件生成, 如滤波器系数、待处理的原始数据等, 都由 Matlab 产生, 书中给出 Matlab 源程序, 无需用户额外花费时间编写那些程序。

通过本书学习,了解一类器件(DSP),掌握一门设计软件(CCS),熟悉一种设计工具(DSP 实验板)。以 DSP 为依托,掌握基本信号实时处理的实现方法。为此,本书设计了多个 DSP 实验,这些 DSP 实验分布在第 5 章和第 6 章。在第 5 章 CCS 使用方法中,在“简单 DSP 程序的设计与调试实验”中以序列卷积运算为例,介绍了 DSP 工程的建立、编辑和调试方法;在“DSP 与计算机数据文件双向读写程序的设计与调试实验”中,进一步介绍了 DSP 工程的编辑与调试、DSP 与外部数据文件的双向读写;在“图像数据转换与 CCS 图像处理实验”中,以 DSP 图像处理方法为例,介绍了 DSP 图像处理的方法。这 3 个实验都是在 Simulator 下完成,而无需 DSP 硬件。在“仿真器 SEED XDS510PLUS 驱动的安装与配置”中,介绍了如何安装 DSP 硬件仿真器驱动,如何将 DSP 硬件与计算机相连接。

第 6 章 DSP 实验指导中:

实验一 流水灯实验中:主要介绍 DSP 软件设计的基本流程、介绍系统时钟配置、芯片支持 CSL 库的使用和 GPIO 的使用。

实验二 信号发生器实验中:介绍 CODEC 工作原理、D/A 转换器的编程,介绍查表法和计算法,以及数据如何输出。

实验三 语音信号的采集存储与回放实验中:介绍 McBSP 原理与编程方法、A/D 转换器的编程、DSP 数据定位与存储器分配(DSP 的数据段编写方法及 CMD 文件编写方法)。

实验四 DMA 方式下语音信号的采集与回放实验中:介绍 DMA 原理与编程方法、C55x DSP C 语言中断程序的设计方法。

实验五 利用 DSP 实现信号实时 FIR 滤波实验中:介绍利用 Matlab 对信号进行 FIR 滤波与仿真、DSPLIB 库的调用方法,将 FIR 算法程序嵌入到实验四 DMA 实验模块中实现实时信号滤波。

实验六 利用 DSP 实现信号实时频谱分析实验中:介绍利用 Matlab 对信号进行 FFT 分析、DSPLIB 库的调用方法,将 FFT 算法程序嵌入到实验四 DMA 实验模块中实现实时信号谱分析。同时介绍了代码剖析工具 Profile 对代码进行时间评估方法。

本书共分 8 章。其中,第 1、2 章介绍了 DSP 的发展、原理结构及片上外设。第 3 章介绍了 BJTU-DSP5502 实验板硬件电路的设计。第 4 章介绍了 DSP 的 C 语言编程方法。第 5 章介绍了 CCS 集成开发环境的使用,以 CCS 基本调试实验为例,循序渐进地学习 CCS。第 6 章为实验部分,利用 BJTU-DSP5502 信号处理系统,利用 C 语言设计了多个信号实验,其中还提供了由 Matlab 给出的数据和仿真程序。每个实验程序都经过了调试,并给出了详细的 C 语言源程序及其注释,强调 TMS320C5000 DSP 库函数(如 CSL 库、DSPLIB 库等)的使用及信号处理算法的 C 语言实现。第 7 章为综合设计实验,以多频率音乐播放器的设计为例,给出 DSP 的综合应用。第 8 章给出一些 DSP 课程设计参考题目,以供读者自行设计 DSP 系统。

本书由钱满义和高海林合作编写。钱满义编写了第 1、2、3、5 章及第 6 章的实验一、实验五、实验六，第 7 章第 1 节和附录 A。高海林编写了第 4 章及第 6 章实验二、实验三和实验四，第 7 章第 2 节和附录 B。

本书由北京交通大学陈后金教授主审，陈后金教授认真审阅了全部文稿，并提出了中肯的意见，在此向陈后金教授表示衷心的感谢。

在本书的编写过程中，陈后金、郝晓莉、薛健、胡健、李居朋、周航、申艳、陈新等提供了许多素材，得到了 TI 公司和合众达公司的支持和帮助，在此一并表示感谢。

由于时间仓促，加上作者水平有限，不当和错误之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

2015 年 7 月

目 录

第 1 章 DSP 数字信号处理器概述	1
1.1 数字信号处理概述	1
1.2 数字信号处理器的特点	3
1.3 DSP 芯片的现状和发展	5
1.3.1 DSP 基本概况	5
1.3.2 TMS320 系列 DSP 发展概况	7
思考题与习题	9
第 2 章 TMS320C55x DSP 的硬件结构	10
2.1 TMS320C55x 数字信号处理器	10
2.2 TMS320C55x CPU 结构	11
2.2.1 TMS320C55x CPU 内部总线	14
2.2.2 TMS320C55x CPU 寄存器	14
2.3 TMS320C55x 片上外设	16
2.3.1 多通道缓冲串行口 McBSP	16
2.3.2 直接存储器访问 DMA	18
2.4 TMS320VC5502 引脚分配与定义	22
思考题与习题	34
第 3 章 BJTU-DSP5502 实验系统	35
3.1 BJTU-DSP5502 实验板简介	35
3.2 McBSP	41
3.3 中断与复位	42
3.4 TMS320VC5502 通用输入与输出	43
3.5 仿真器接口 JTAG	43
3.6 音频输入与输出	44
3.6.1 TLV320AIC23B 简介	44
3.6.2 TLV320AIC23B 模拟接口	49
3.7 UART 接口	51
3.8 USB 接口	51
3.9 扩展口	51
3.9.1 连接器和跳针	52

3.9.2 指示灯	60
思考题与习题	60
第4章 DSP 系统的软件设计	61
4.1 DSP 系统软件设计简介	61
4.2 DSP C 语言程序设计的特点	63
4.2.1 DSP 的 C 语言编程	63
4.2.2 C 语言的数据结构	63
4.2.3 C 语言中的预处理命令	69
4.2.4 C55x C/C++ 编译器的关键字	72
4.2.5 C 语言的常用语句	76
4.2.6 C 语言中的函数	79
4.2.7 C 程序的结构及组成	80
4.2.8 CCS 中与 C55x 相关的库函数和头文件	81
4.2.9 运行时支持库 rts55.lib (rts55x.lib) 及其头文件	82
4.2.10 CSL 库及其头文件	82
4.2.11 DSPLIB 通用信号处理程序函数库及其头文件	83
4.3 CMD 连接命令文件	86
4.3.1 CMD 文件的内容及编写	86
4.3.2 DSP 的 C 语言中段的定义	92
4.4 TMS320C55x 的函数库	94
4.4.1 CSL 库函数概述	94
4.4.2 CSL 库函数的使用	99
4.5 C 和汇编的混合编程	107
4.5.1 C 和汇编模块的接口	107
4.5.2 C 程序中访问汇编程序变量	108
4.5.3 C 程序中直接嵌入汇编语句	109
4.6 通用扩展语言 GEL	110
4.6.1 GEL 语言简介	110
4.6.2 GEL 语言的应用	119
思考题与习题	120
第5章 集成开发环境 CCS 的使用	121
5.1 CCS 主要功能	122
5.1.1 CCS 代码产生工具	123
5.1.2 CCS 代码调试工具	124
5.2 CCS 软件的安装与设置	125
5.3 CCS 菜单	127

5.3.1 菜单	127
5.3.2 工具栏	133
5.4 仿真器 SEED XDS510PLUS 驱动的安装与配置	137
5.5 利用 CCS 开发 DSP 应用程序	140
5.5.1 简单 DSP 程序的设计与调试实验	140
5.5.2 DSP 与计算机数据文件双向读写程序的设计与调试实验	148
5.5.3 图像数据转换与 CCS 图像处理实验	157
思考题与习题	164
第 6 章 DSP 实验指导	165
实验一 流水灯实验	165
一、实验目的	165
二、实验原理	165
三、流水灯频闪 DSP 程序代码及分析	171
四、实验内容	173
五、实验思考题	173
实验二 信号发生器实验	173
一、实验目的	173
二、实验原理	173
三、信号发生器 DSP 程序代码及分析	182
四、实验内容	188
五、实验思考题	189
实验三 语音信号的采集存储与回放实验	189
一、实验目的	189
二、实验原理	189
三、信号的采集、存储与回放实验程序代码及分析	202
四、实验内容	206
五、实验思考题	206
实验四 DMA 方式下语音信号的采集与回放实验	207
一、实验目的	207
二、实验原理	207
三、DMA 方式下语音信号的采集与回放实验程序代码及分析	222
四、实验内容	232
五、实验思考题	232
实验五 利用 DSP 实现信号实时 FIR 滤波实验	233
一、实验目的	233
二、实验原理	233

三、信号 FIR 滤波 DSP 程序代码及分析	239
四、利用 DSP 实现信号 FIR 实时滤波	244
五、实验内容	246
六、实验思考题	247
实验六 利用 DSP 实现信号实时频谱分析实验	247
一、实验目的	247
二、实验原理	247
三、信号频谱分析 DSP 程序代码及分析	250
四、利用 DSP 实现实时信号谱分析	257
五、实验内容	257
六、实验思考题	257
第 7 章 DSP 综合设计应用实例 —— 多频率音乐播放器的设计	258
7.1 信号抽取	258
7.2 信号内插	263
7.3 有理整数抽样率转换	266
7.4 多速率音乐播放器的 DSP 设计	267
思考题与习题	272
第 8 章 DSP 课程设计参考题目	273
8.1 多波形信号发生器的设计	273
8.2 DTMF 信号的产生及检测	275
8.3 FSK 调制解调器的设计	278
8.4 语音压缩、存储和回放	280
8.5 利用 DSP 实现实时信号 FIR 滤波	282
8.6 利用 DSP 实现实时信号 IIR 滤波	284
8.7 利用 DSP 实现实时信号谱分析	287
8.8 语音识别	289
8.9 简易钢琴音准仪	290
附录 A BJTU-DSP5502 电路原理图	294
附录 B C55xx DSP 课程设计常见问题及解决方法	305
一、硬件问题	305
二、软件使用问题	305
三、算法问题	307
参考文献	308

第1章 DSP 数字信号处理器概述

1.1 数字信号处理概述

数字信号处理 (Digital Signal Processing, DSP) 是 20 世纪 60 年代前后发展起来并广泛应用于许多领域的学科。20 世纪 70 年代以来, 随着大规模集成电路 (LSI) 和超大规模电路 (VLSI) 及微处理器技术的迅猛发展, 数字信号处理的理论和技术得到长足发展, 使其在数字通信、雷达、遥感、声纳、语音合成、图像处理、测量与控制、多媒体技术、生物医学工程及机器人等各个领域都得到广泛的应用。

图 1-1 是利用数字信号处理系统实现模拟信号的分析与处理的简化框图。此系统先将模拟信号变换为数字信号, 经数字信号处理后, 再变换成模拟信号输出。模拟信号首先经过抗混叠滤波器, 然后经 A/D 转换器变成数字信号 $x[k]$ 。数字信号处理器对 $x[k]$ 进行处理, 得到的输出信号 $y[k]$ 仍是数字信号, $y[k]$ 经 D/A 转换器变成模拟信号, 再经平滑滤波器, 最后输出平滑的模拟信号 $y(t)$ 。

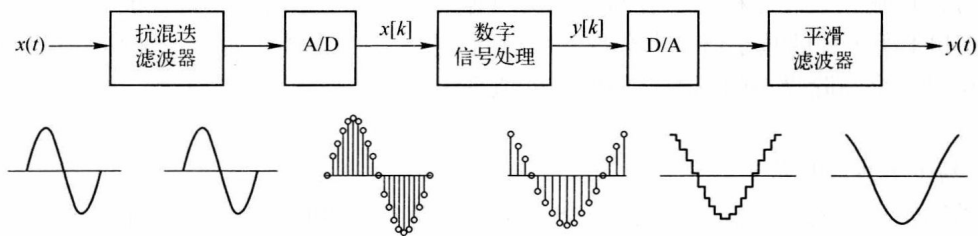


图 1-1 利用数字信号处理系统实现模拟信号的分析与处理的简化框图

1. 什么是 DSP

广义地理解, DSP 为数字信号处理, 即信号的分析 and 处理。通常此类的处理过程需要大量的数学运算。狭义地理解, DSP 为数字信号处理器 (Digital Signal Processor, 或者 DSPs), 是专门用来做数字信号处理的处理器。本书所说的 DSP 技术, 是指利用通用 DSP 处理器或基于 DSP 核的专用器件, 实现数字信号处理的方法与技术, 完成数字信号处理的任务。

自从 20 世纪 70 年代微处理器诞生以来, 信号处理技术就沿着以计算机为代表的通用 CPU、以单片机为代表的微控制器 MCU 和 DSP 处理器这三个方向发展。这三类微处理器在

发展过程中,在技术上相互借鉴,同时又有各自的特点和应用领域。

DSP 技术的发展得益于以下两个方面。

(1) 数字信号处理的理论和方法在近年得到迅速发展。以离散傅里叶变换和小波分析为代表的信号频谱分析、声音与图像处理技术、多媒体技术等的发展,为各种实时处理的应用提供了理论与算法上的基础。

(2) 微电子科学与技术的进步,使得数字信号处理的实现得到技术上的保障。随着大规模集成电路的发展,DSP 处理器的性能也在迅速地提高。工艺水平、性能大幅度提高,功耗、体积和成本却大幅度下降。

2. 数字信号处理的优点

虽然模拟信号处理在特定条件下是不可缺少的,但相比模拟信号处理,数字信号处理有许多明显的优越性。

1) 灵活性高

当模拟系统的功能改变,或元件参数需要调整时,则必须重新进行系统设计,然后重新装配和调试。对于以 DSP 处理器为核心的数字处理系统而言,硬件平台可以不改变,只通过改变软件设计来调整和执行各种各样的数字信号处理任务。

2) 稳定性好

模拟电路中的电容、电阻、电感和运算放大器等器件都会随环境的改变而改变,导致模拟系统的性能也发生改变。数字系统的稳定性好,受时间和环境的影响小。

3) 抗干扰能力强

信号在传输和处理过程中,容易受到噪声等干扰。数字系统抗干扰性能大大优于模拟信号。以 0 和 1 所表征的数字信号也会受到噪声的干扰,但只要能正确地识别 0 和 1,并将其再生,则可以完全消除噪声的影响。如果是模拟系统,输入受到相同的干扰,输出会发生很大的变化。

4) 易于大规模集成

随着微电子技术的发展、工艺水平的提高,芯片集成度越来越高,数字系统可以实现大规模集成,便于小型化。如导弹的小型化,早期防空导弹由地面指挥中心引导导弹打击飞行目标,指挥中心易于暴露而成为打击对象,随着电子器件的集成度提高,现在多数防空导弹都把指挥中心直接放在导弹上,导弹发射后自行引导打击目标,实现所谓“打了不管”,导弹打击精度得到了提高,地面安全得到了保障。

3. 数字信号处理的方法

数字信号处理可以通过软件、硬件或软硬件结合的方法来实现,具体有以下几种。

1) 利用通用计算机实现软件处理

在通用计算机上利用高级语言编写信号处理程序,或利用 Matlab 进行信号处理,主要应用在不需要实时性操作的场合,如教学和仿真研究等。

2) 利用专用芯片进行硬件实现

利用 FPGA 等可编程逻辑阵列开发 ASIC 芯片, 来实现数字算法。其优点是实时性好、易于集成等。

3) 利用通用可编程 DSP 芯片进行软硬件实现

DSP 芯片由于改进的哈佛结构, 允许并行地进行指令和数据处理; DSP 芯片内部有硬件乘法器, 使乘法变得简单; 其流水线操作使得同一机器周期完成多个操作。DSP 芯片优点是实时性好, 灵活性大, 广泛应用于军事、民用消费等领域。

4) 片上系统 (SoC)

DSP 处理器从传统的通用型处理器中分离出更多的直接面向特定应用对象的 SoC (System on Chip), 如 DSP+ARM 的双核 SoC 器件。以 TI 公司 (Texas Instrument) 为例, 为了开辟手机芯片市场, TI 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, 如面向第三代无线通信终端的双核 SoC 器件 OMAP1510。其他 SoC 器件如面向数码相机的 DM270、面向专业音频设备的 DA610、面向媒体处理的 DM642 等。

本书主要讨论利用通用可编程 DSP 芯片, 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 数字信号处理器的特点

数字信号处理器是专门用来进行数字信号处理, 其特点是按照数字信号处理的算法结构与特点来设计, 因而其运算速度快, 编程方便, 擅长实现数字信号处理。在数字信号处理的算法中, 卷积运算、相关运算、变换运算、级数运算等运算大约占各种处理算法的 70% 以上。因此针对这些算法特点, DSP 在结构和寻址方式等方面采用了相应的解决办法, 见表 1-1。

表 1-1 算法基本特点及 DSP 相应解决办法

算法的基本特点	DSP 主要解决办法
加法和乘法, 并进行多次连加和连乘	使用硬件乘法器和乘加单元 (MAC), 单周期实现乘或乘加运算
在运算过程中需要连续、频繁地对数据进行存取访问	采用改进的哈佛结构, 处理单元与存储器之间采用多条总线连接
在运算中对数据的访问不是随机的, 而是按照固定模式有确定性地访问	采用专门的数据寻址单元, 提供灵活高效的数据寻址方式
在运算过程中大量出现循环操作	“零开销”的循环指令处理

DSP 芯片不同于一般微处理单元, DSP 芯片的特点决定了其适合于数字信号的实时处理。下面简要介绍 DSP 芯片的特点。

1. 哈佛结构

早期的微处理器内部大多采用冯·诺依曼 (Von-Neumann) 结构, 其片内程序空间和数

据空间混合使用,取指令和取操作数都是通过一条总线分时进行。当进行高速运算时,不但不能同时取指令和取操作数,而且还会造成传输通道上的瓶颈现象。而 DSP 内部采用的是程序空间和数据空间分开的哈佛(Havard)结构,允许同时取指令(来自程序存储器)和取操作数(来自数据存储器)。为了进一步提高信号处理的效率,采用在哈佛结构的基础上又加以改善,使程序代码和数据存储空间之间可以进行数据的传送,即改进的哈佛结构。

2. 多总线结构

DSP 芯片内部采用多总线结构,可以在一个机器周期内多次访问程序空间和数据空间。例如,TMS320C54x 内部有 P、C、D、E 等 8 条总线,每条总线又分为数据总线和地址总线,可以在一个机器周期内从程序存储空间取 1 条指令、从数据存储器中读 2 条操作数和向数据存储器中写 1 个操作数,大大提高了 DSP 的运行速度。

3. 流水线结构

DSP 执行一条指令,需要通过取指、译码、取操作数和执行等几个阶段。在 DSP 中,采用流水线结构,在程序的运行过程中这几个阶段可以重叠。在执行本条指令的同时,还依次完成了后面的指令的取操作数、译码和取指,指令周期降低到最小值。利用这种流水线结构,加上执行重复操作,可以在单个指令周期内完成乘加运算。

4. 多处理单元

DSP 内部一般都包括多个处理单元,如算术逻辑单元(ALU)、辅助寄存器运算单元(ARAU)、累加器(ACC)及硬件乘法器(MUL)等。它们可以在一个指令周期同时进行运算。例如,当执行依次乘法和累加的同时,辅助寄存器单元已经完成了下一个地址的寻址工作,为下一次乘法和累加运算做好了准备。因此,DSP 在进行连续的乘加运算时,每一次乘加运算都是单周期的。DSP 的这种多处理单元结构,特别适用于 FIR 和 IIR 滤波器。此外,DSP 的多处理单元结构还可以将一些特殊的算法,如 FFT 的倒位寻址和取模运算等,在芯片内部用硬件实现,从而提高运行速度。

5. 特殊的 DSP 指令

在 DSP 的指令中,设计了一些特殊的 DSP 指令以更好地满足数字信号处理的需要。例如,TMS320C54x 中的 FIRS 和 LMS 指令,专门用于系数对称的 FIR 滤波器和 LMS 算法。

6. 指令周期短

早期的 DSP 指令周期约 400 ns,采用 4 μ m NMOS 制造工艺,其运算速度为 5MIPS(Millions of Instructions Per Second)。随着集成电路工艺的发展,DSP 广泛地采用亚微米 CMOS 制造工艺,其运行速度越来越快。例如,TMS320C54x 运行速度可达 100MIPS;TMS320C6203 时钟 300 MHz,运行速度可达 2 400MIPS;TMS320DM642 时钟最高 720 MHz,运行速度可达 5 760MIPS;而 TMS320C6416 时钟频率超过 1 GHz,运行速度可达 8 000MIPS。

7. 运算精度高

早期的 DSP 字长为 8 位, 后来逐步提高到 16 位、24 位、32 位、40 位。为了防止溢出, 累加器长达 40 位。此外, 浮点型 DSP 则提供了更大的数据表达的动态范围。

8. 硬件配置强

新一代 DSP 的接口功能也越来越强, 片上外设丰富, 如串行口、主机接口 (HPI)、DMA 控制器、软件控制的等待状态寄存器、锁相环时钟控制器, 以及实现片内仿真的符合 IEEE1149.1 标准的测试访问口, 更易于完成系统设计。许多 DSP 芯片都可以工作在节电方式, 使得系统功耗降低。

DSP 芯片的上述特点, 使其在各个领域都得到了越来越广泛的应用。

1.3 DSP 芯片的现状和发展

1.3.1 DSP 基本概况

世界上第一个 DSP 是 1978 年 TI 公司推出的 “Speak & Spell” DSP 合成器, 用在儿童学习英语的玩具里。这种产品功能是孩子说出一个单词, 机器就能拼出英语单词的写法。1982 年, TI 公司推出的第一款可编程通用 DSP-TMS32010, 可应用于工业用途。因此业界往往认为 1982 年是商用 DSP 正式诞生的里程碑年代。1980 年以后, DSP 芯片取得了突飞猛进的发展, 主要表现在以下几个方面。

1. 制造工艺

早期的 DSP 采用 $4\mu\text{m}$ 的 N 沟道 MNOS (NMOS) 制造工艺; 现在的 DSP 则普遍采用亚微米 CMOS 工艺, 达到 $0.13\mu\text{m}$, 甚者几十纳米以下。DSP 芯片的引脚数量从 40 个左右增加到 200 个以上, 需要设计的外围电路越来越少, 单位 MIPS 的成本、体积和功耗都有很大的下降。

2. 存储器容量

早期的 DSP 片内的程序存储器和数据存储器只有几百个单元, 有的片内没有 ROM。目前 DSP 片内数据存储器 and 程序存储器可达几十千字, 甚至数以兆字。此外, DSP 对片外程序存储器和数据存储器的寻址能力也大大增强, 可达 $16\text{M}\times 48$ 位和 $4\text{G}\times 40$ 位以上。

3. 内部结构

当前 DSP 芯片内部广泛采用多总线、多处理单元和多级流水线结构, 加上完善的接口功能, 使得 DSP 的系统功能、数据处理能力及与外部设备的通信能力大大增强。例如, TMS320C6201CPU 中包含 8 个并行处理单元, 一个时钟周期可以执行 8 条指令, 每秒最高进行 16 亿次定点运算。

4. 运行速度

经过 20 多年的发展, DSP 的指令周期从 400 ns 缩短到 10 ns 以下, 相应的运行速度从 2.5MIPS 提高到 2 000MIPS 以上。例如, TMS320C6201 DSP, 执行一次 1 024 点复数 FFT 运行时间只有 66 μ s。

5. 运算精度和动态范围

由于输入信号动态范围及迭代算法可能产生误差积累问题, 因此对单片 DSP 的精度提出了较高的要求。DSP 的字长从 8 位增加到 16 位、24 位、32 位, 累加器的长度也增加到了 40 位。超长字指令 (VLIW) 结构和高性能的浮点 DSP 的出现, 扩大了数据处理的动态范围。

6. 开发工具

20 世纪 90 年代后推出的 DSP 处理器, 都有比较完善的软件和硬件开发工具, 其中包括汇编语言编译器、C 语言编译器、各种转换工具、Simulator 软件仿真器、Emulator 在线仿真器等, 给开发应用带来了很大的方便。

随着现代通信技术的发展, 预计其发展趋势可以概括为以下几点。

- ① 发展高速、高性能的 DSP 器件, 当前的 DSP 可达 8 000 MIPS。
- ② 高度集成化, 集滤波、A/D、D/A、ROM、RAM 和 DSP 内核于一体的模拟数字混合式的 DSP 芯片将有较大的发展和应用。
- ③ 低功耗低电压, 进一步降低功耗, 开发低电压 DSP 内核 (例如 TMS320C5402 为 3.3 V 供电, 1.8 V 内核), 使其更适用于个人通信、便携式计算机和便携式仪器仪表。
- ④ 开发专用 DSP 芯片, 为了满足系统级芯片的设计, 开发基于 DSP 内核的 ASIC 会有较大的发展。
- ⑤ 提供更加完善的开发环境, 特别是开发效率更高、优化的 C 编译器和代数式指令系统, 以克服汇编语言程序的可读性和可移植性差的不足, 缩短开发周期。例如, TI 公司的集成开发环境 CCS、ADI 公司的 Visual DSP++。
- ⑥ 扩大应用范围, DSP 芯片已经渗透到航空航天、雷达、声纳、图像、医疗设备、消费电子等众多领域, 还将进一步扩大应用的范围。

TMS320 系列 DSP 有定点、浮点和多处理器结构的数字信号处理器, TMS320 系列 DSP 结构专门是为实时信号处理设计的, 它具有灵活的指令系统、灵活的操作性、并行结构、高性能和低价格等特点。

当前虽然 DSP 无论是作为一种成熟的技术还是一种成熟的产品均已成为数字信息时代的主流之一, 但是其市场化拓展还存在着巨大的空间。DSP 的三大要素与其市场拓展息息相关, 即性能、价格和功耗。DSP 的性能越来越高, 但价格和功耗越来越低。

此外, DSP 结构体系的多样性使得 DSP 可以在嵌入式应用方面挑战微处理器 CPU, 在数字控制方面可挑战单片机 MCU。DSP 既有追求高性能并行结构, 也有追求低功耗的节电核心。DSP 中不仅可以集成闪存、数据转换器和多种接口, 还可以集成 CPU 核心、视频和音频接口。

DSP 未来的发展趋势是向着多核与 SoC 发展,并为应用的智能化、网络化发展提供支持。在与其他处理器的竞争中,吸收了其他处理器的优点。比如,高性能片上系统 (SoC) TMS320DM8148 集 DSP 和 ARM 于一体, DSP 擅长于大吞吐数据量和快速运算,而 ARM 擅长控制。此芯片集成了视频前端、视频加速器,针对数字视频的应用和大数据而设计。同时在软件和体系架构方面, DSP 有很好的继承性。软件可编程性始终是 DSP 市场拓展的关键,目前 DSP 开发工作中的 80% 以上已是软件工作。数字信息产品中需要应用到许许多多新的技术和标准,其中不少需要经过不断地完善。DSP 首先可以构建一个强大灵活的硬件平台和软件基础,然后集成各种软件,其中可以包括标准算法、驱动、协议和应用等。DSP 软件易于维护和升级,大量工作可以在线实现。

1.3.2 TMS320 系列 DSP 发展概况

1982 年, TI 公司推出 TMS320 系列中第一代 DSP 芯片 TMS32010 及其系列产品 TMS32011、TMS320C10/C14/C15/C16/C17 等, 之后相继推出第二代 DSP 芯片 TMS32020、TMS320C25/C26/C28, 第三代 DSP 芯片 TMS320C30/C32/C32, 第四代 DSP 芯片 TMS320C40/44, 第五代 DSP 芯片 TMS320C5x、TMS320C54x、TMS320C55x。第二代 DSP 芯片改进型 DSP 芯片 TMS320C2xx, 第三代高速低功耗改进型 TMS320VC33。集多片 DSP 芯片于一体的 TMS320C8x、目前速度最快的第六代 DSP 芯片 TMS320C62x/TMS320C64x/ TMS320C67x, 以及采用 DaVinci (达芬奇) 技术的 DSP 芯片 TMS320DM6443 和 TMS320DM6446 等。TI 将常用 DSP 按照应用归纳为三大系列, 即 TMS320C2000、TMS320C5000 和 TMS320C6000 系列。其中 TMS320C5000 平台又由三代组成, 即 TMS320C5x、TMS320C54x 和 TMS320C55x。相同系列 DSP 平台有着相似的 CPU 结构, 但片内存储器 and 片上外设有一定的不同, 可以满足更广泛的市场的的需求。由于 CPU 和存储器、片上外设集成到单片处理器上, 因此 TMS320 系列处理器的系统成本下降, 并且可以节省电路板的空间。TMS320 系列处理器发展的示意图如图 1-2 所示。

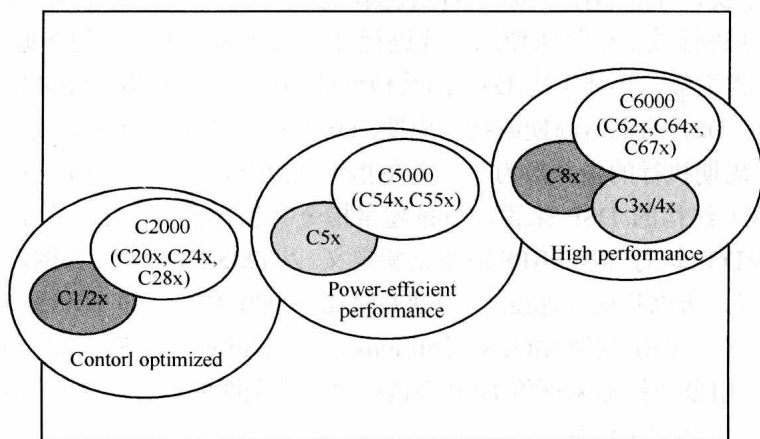


图 1-2 TMS320 系列处理器发展的示意图