

“十二五”高等院校规划教材

TMS320C55x **DSP**  
应用系统设计 (第2版)

赵洪亮 卜凡亮 黄鹤松 张仁彦 编著

# TMS320C55x DSP 应用系统设计

(第2版)

赵洪亮 卜凡亮 黄鹤松 张仁彦 编著

北京航空航天大学出版社

## 内 容 简 介

本书以 TI 公司的 TMS320C55x 系列芯片为对象,系统地介绍了 DSP 芯片的基础知识和 DSP 应用系统的开发设计方法。全书共分 10 章,主要内容是:C55x 的硬件结构和指令系统;采用汇编语言、C/C++ 语言进行 C55x 软件开发的基础知识和方法,包括 CCS 在内的软件开发工具的使用方法;典型应用程序设计,包括数据定标与溢出处理,多字整数、小数的加法、减法、乘法和除法,FIR、IIR 滤波器,FFT 等;常用 C55x 片上外设,C55x 应用系统的硬件扩展方法;典型应用系统设计实例。

本书选材新、内容丰富、通俗易懂、实用性强,可作为电气信息类专业及其他相近专业的高年级本科生和研究生学习 DSP 课程的教材或参考书,也可供从事 DSP 应用系统开发的科技工作者或工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

TMS320C55x DSP 应用系统设计 / 赵洪亮编著. --2  
版. --北京:北京航空航天大学出版社,2010.9  
ISBN 978-7-5124-0200-3

I. ①T… II. ①赵… III. ①数字信号—信息处理系  
统一系统设计 IV. ①TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 165666 号

版权所有,侵权必究。

### TMS320C55x DSP 应用系统设计(第 2 版)

赵洪亮 卜凡亮 黄鹤松 张仁彦 编著  
责任编辑 张楠 王松

\*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:emsbook@gmail.com 邮购电话:(010)82316936

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

\*

开本:787×1 092 1/16 印张:23 字数:589 千字

2010 年 9 月第 2 版 2010 年 9 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 978-7-5124-0200-3 定价:39.00 元

# 第 2 版前言

数字化已成为现代信息技术的重要标志,是电子产品高品质的象征。数字信号处理具有灵活、精确、重复性好等优良特性,这些都是模拟信号处理方法所无法比拟的,它在电子信息、通信、计算机、仪器设备、自动控制、医学、消费类电子和军事等领域起着越来越重要的作用。DSP 芯片将越来越多地渗透到各种电子产品当中,成为各种电子产品尤其是通信、音视频、娱乐类产品的技术核心。因此,DSP 技术已成为高校学生和科技人员必须掌握的一门重要技术。

现在世界上主要的 DSP 芯片厂家包括 TI、ADI、Freescale 及 AT&T 等公司,其中 TI 公司的 DSP 产品种类最多,应用面最广,对行业影响最大。TI 公司的 DSP 产品型号众多,其 TMS320C5000(简称 C5000)、TMS320C2000、TMS320C6000 等系列产品是当前和未来一段时期内 TI 公司的主流 DSP 产品。其中 C5000 系列为 16 位定点 DSP,由于其具有高性能、低功耗、体积小、价格低等显著优点,因此被广泛地应用在 IP 电话机、IP 电话网关、数字式助听器、便携式声音/数据/视频产品、调制解调器、手机/移动电话基站、语音服务器、数字收音机、小型办公室/家庭语音和数据系统中。

C5000 系列 DSP 芯片目前已有三代产品,即 C5x、C54x 和 C55x。C55x 是 C5000 系列的新一代产品,与 C54x 的源代码兼容。与 C54x 相比,C55x 处理速度明显提高,功耗也明显降低。如 300 MHz 的 C55x 与 120 MHz 的 C54x 相比,C55x 的处理速度比 C54x 提高了 5 倍,而功耗只有 C54x 的 1/6。

本书以 C55x 为描述对象,参考最新的 TI 公司系列资料以及其他有关教材和著作,结合作者多年来开发应用 DSP 系统的体会和心得,在近年来为本科生开设“DSP 应用系统设计”课程而编写的讲义基础上,进行充实、提高和改编而成。

全书共分 10 章,其内容如下:

第 1 章是绪论。介绍了 DSP 的基本概念,DSP 芯片的发展、特点、分类及 DSP 产品概况。

第 2 章是 TMS320C55x 的硬件结构。介绍了 C55x 芯片的总体结构、引脚功能、CPU 结构及相关寄存器、存储空间和 I/O 空间、中断和复位操作。

第 3 章是 TMS320C55x 的指令系统。介绍了 C55x 的寻址方式,包括绝对寻址

方式、直接寻址方式和间接寻址方式;C55x 的指令系统,包括算术运算指令、位操作指令、扩展辅助寄存器操作指令、逻辑运算指令、移动指令和程序控制指令。

第4章是 TMS320C55x 汇编语言编程。介绍了 C55x 软件开发的一般流程,COFF 目标文件格式,汇编伪指令,汇编语言程序的编写,C55x 汇编器和链接器的使用。

第5章是集成开发环境(CCS)。介绍了 CCS 软件的安装及配置,CCS 的基本操作,包括 CCS 的窗口、菜单、工具条和文件的编辑;CCS 工程项目的建立和构建;工程项目的调试,包括程序的运行控制,断点和探测点的设置及使用,寄存器、存储器、变量的观察和修改,图形工具的使用、数据输入与输出等。

第6章是 C/C++ 语言程序设计。介绍了 C55x C/C++ 语言概况;C55x C/C++ 语言编程的基础知识,包括 C55x C/C++ 语言的基本语法、编译工具和代码优化方法;C55x C 语言与汇编语言的混合编程方法。

第7章是应用程序设计。介绍了数据的定标与溢出的处理方法;常用多字算术运算程序的设计,包括多字整数、小数的加法、减法、乘法和除法等;FIR、IIR 滤波器和 FFT 的程序设计。本章介绍的大量实例程序均已调试通过,可供程序员直接调用。

第8章是 C55x 的片上外设。介绍了部分常用 C55x 片上外设,包括时钟发生器、通用定时器、通用 I/O 口(GPIO)、外部存储器接口(EMIF)、多通道缓冲串口 McBSP、模/数转换器(ADC)、看门狗定时器和 I<sup>2</sup>C 模块等。

第9章是 C55x 的硬件扩展。介绍了 DSP 应用系统硬件的一般设计过程;DSP 硬件系统的基本设计,包括 JTAG 接口电路、电源电路、复位电路和时钟电路的设计;外扩程序存储器、数据存储器、ADC、DAC 的方法。

第10章是 C55x 应用系统设计实例。介绍了一个基于 TMS320VC5509A 的通用数字信号处理板,包括硬件设计和一组调试程序。在此基础上,给出了2个典型 DSP 应用系统的设计方案:自适应系统辨识,数字有源抗噪声耳罩。

本书可作为电气信息类专业及其他相关专业的高年级本科生和研究生的 DSP 课程教材\*或参考书,也可作为从事 DSP 应用系统开发的科技工作者或工程技术人员参考用书。

本书由赵洪亮、卜凡亮、黄鹤松、张仁彦、崔然、李岩合作编写。其中赵洪亮编写了第1章、第4章、第7章、第9章、第10章,卜凡亮编写了第2章、第3章,黄鹤松编写了第5章,张仁彦编写了第8章,崔然、李岩编写了第6章。全书由赵洪亮统稿和定稿。

另外,李晓刚、刘建新、郑卫华、尹唱唱、夏广红、姬强、李佳参加了本书第3、4、6、7章中部分例题的编写。研究生孙国华、岳莎莎、田祥娥、甄冬、杜晓辉、王亮参与了部分程序的调试和插图绘制工作。

\* 本书配有教学课件及源程序,有需要的教师,请联系 [emsbook@gmail.com](mailto:emsbook@gmail.com) 索取。

本书由俞一彪教授主审。俞教授付出了大量的时间和精力,认真阅读了全书,并提出了很多修改意见。在本书编写的过程中,还得到了曹茂永教授的大力支持和帮助。在此,谨向他们表示衷心的感谢。

本书在北京航空航天大学出版社的大力支持下得以出版,在此表示由衷的感谢。

为了赶上技术进步的步伐、尽量贴近实际,本书选择了较新的 DSP 芯片 C55x 为对象进行讲述。但由于作者水平有限,加之编写时间仓促,若书中有错误和不妥之处,敬请广大读者批评指正。

作 者

2010 年 8 月

# 目 录

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| <b>第 1 章 绪 论</b> .....              | 1  |
| 1.1 DSP 的基本概念 .....                 | 1  |
| 1.2 DSP 芯片简介 .....                  | 2  |
| 1.2.1 DSP 芯片的发展历史、现状和趋势 .....       | 2  |
| 1.2.2 DSP 芯片的特点 .....               | 4  |
| 1.2.3 DSP 芯片的分类 .....               | 5  |
| 1.2.4 DSP 芯片的应用领域 .....             | 5  |
| 1.2.5 选择 DSP 芯片考虑的因素 .....          | 6  |
| 1.3 DSP 芯片产品简介 .....                | 7  |
| 1.3.1 TI 公司的 DSP 芯片概况 .....         | 7  |
| 1.3.2 其他公司的 DSP 芯片概况 .....          | 7  |
| 1.3.3 TMS320C5000 概况 .....          | 8  |
| 思考题与习题 .....                        | 9  |
| <b>第 2 章 TMS320C55x 的硬件结构</b> ..... | 10 |
| 2.1 TMS320C55x 的总体结构 .....          | 10 |
| 2.1.1 C55x CPU 内部总线结构 .....         | 10 |
| 2.1.2 C55x 的 CPU 组成 .....           | 10 |
| 2.1.3 C55x 存储器配置 .....              | 11 |
| 2.1.4 C55x 外设配置 .....               | 12 |
| 2.2 C55x 的封装和引脚功能 .....             | 13 |
| 2.2.1 引脚属性 .....                    | 13 |
| 2.2.2 引脚信号定义与描述 .....               | 14 |
| 2.3 C55x 的 CPU 结构 .....             | 18 |
| 2.3.1 存储器接口单元(M 单元) .....           | 18 |
| 2.3.2 指令缓冲单元(I 单元) .....            | 18 |
| 2.3.3 程序流单元(P 单元) .....             | 19 |

# 目 录

|              |                         |           |
|--------------|-------------------------|-----------|
| 2.3.4        | 地址数据流单元(A单元)            | 20        |
| 2.3.5        | 数据计算单元(D单元)             | 20        |
| 2.3.6        | 地址总线与数据总线               | 22        |
| 2.3.7        | 指令流水线                   | 23        |
| 2.4          | CPU 寄存器                 | 25        |
| 2.4.1        | 概 况                     | 25        |
| 2.4.2        | 累加器(AC0~AC3)            | 29        |
| 2.4.3        | 变换寄存器(TRN0、TRN1)        | 30        |
| 2.4.4        | T 寄存器(T0~T3)            | 30        |
| 2.4.5        | 用作数据地址空间和 I/O 空间的寄存器    | 30        |
| 2.4.6        | 程序流寄存器(PC、RETA、CFCT)    | 35        |
| 2.4.7        | 中断管理寄存器                 | 36        |
| 2.4.8        | 循环控制寄存器                 | 39        |
| 2.4.9        | 状态寄存器 ST0_55            | 40        |
| 2.4.10       | 状态寄存器 ST1_55            | 43        |
| 2.4.11       | 状态寄存器 ST2_55            | 46        |
| 2.4.12       | 状态寄存器 ST3_55            | 48        |
| 2.5          | 存储空间和 I/O 空间            | 51        |
| 2.5.1        | 存储器映射                   | 51        |
| 2.5.2        | 程序空间                    | 53        |
| 2.5.3        | 数据空间                    | 54        |
| 2.5.4        | I/O 空间                  | 55        |
| 2.6          | 堆栈操作                    | 55        |
| 2.6.1        | 数据堆栈和系统堆栈               | 55        |
| 2.6.2        | 堆栈配置                    | 56        |
| 2.6.3        | 快返回与慢返回                 | 56        |
| 2.7          | 中断和复位操作                 | 58        |
| 2.7.1        | 中断概述                    | 58        |
| 2.7.2        | 中断向量与优先级                | 58        |
| 2.7.3        | 可屏蔽中断                   | 60        |
| 2.7.4        | 不可屏蔽中断                  | 63        |
| 2.7.5        | 硬件复位                    | 64        |
| 2.7.6        | 软件复位                    | 66        |
|              | 思考题与习题                  | 67        |
| <b>第 3 章</b> | <b>TMS320C55x 的指令系统</b> | <b>69</b> |
| 3.1          | 寻址方式                    | 69        |
| 3.1.1        | 绝对寻址方式                  | 69        |
| 3.1.2        | 直接寻址方式                  | 71        |



|            |                         |            |
|------------|-------------------------|------------|
| 3.1.3      | 间接寻址方式                  | 74         |
| 3.1.4      | 数据存储器的寻址                | 81         |
| 3.1.5      | 存储器映射寄存器(MMR)的寻址        | 82         |
| 3.1.6      | 寄存器位的寻址                 | 83         |
| 3.1.7      | I/O空间的寻址                | 83         |
| 3.1.8      | 循环寻址                    | 83         |
| 3.2        | TMS320C55x的指令系统         | 85         |
| 3.2.1      | 算术运算指令                  | 87         |
| 3.2.2      | 位操作指令                   | 111        |
| 3.2.3      | 扩展辅助寄存器操作指令             | 114        |
| 3.2.4      | 逻辑运算指令                  | 115        |
| 3.2.5      | 移动指令                    | 118        |
| 3.2.6      | 程序控制指令                  | 126        |
|            | 思考题与习题                  | 130        |
| <b>第4章</b> | <b>TMS320C55x汇编语言编程</b> | <b>132</b> |
| 4.1        | TMS320C55x软件开发流程        | 132        |
| 4.1.1      | 软件开发流程                  | 132        |
| 4.1.2      | 软件开发工具                  | 132        |
| 4.2        | TMS320C55x目标文件格式        | 134        |
| 4.2.1      | COFF文件的基本单元——段          | 134        |
| 4.2.2      | 汇编器对段的处理                | 134        |
| 4.2.3      | 链接器对段的处理                | 138        |
| 4.2.4      | 链接器对程序的重新定位             | 139        |
| 4.2.5      | COFF文件中的符号              | 140        |
| 4.3        | TMS320C55x汇编器           | 141        |
| 4.3.1      | 汇编器概述                   | 141        |
| 4.3.2      | 汇编程序的运行                 | 141        |
| 4.3.3      | C55x汇编器的特点              | 142        |
| 4.4        | TMS320C55x汇编伪指令         | 145        |
| 4.4.1      | 汇编伪指令                   | 145        |
| 4.4.2      | 宏指令                     | 146        |
| 4.5        | TMS320C55x汇编语言源文件的书写格式  | 151        |
| 4.5.1      | 汇编语言源文件格式               | 151        |
| 4.5.2      | 汇编语言中的常数与字符串            | 152        |
| 4.5.3      | 汇编源程序中的符号               | 153        |
| 4.5.4      | 汇编源程序中的表达式              | 156        |
| 4.5.5      | 内建数学函数                  | 157        |
| 4.6        | TMS320C55x链接器           | 158        |

# 目 录

|              |                                   |            |
|--------------|-----------------------------------|------------|
| 4.6.1        | 概 述 .....                         | 158        |
| 4.6.2        | 链接器的运行 .....                      | 158        |
| 4.6.3        | 链接器命令文件的编写与使用 .....               | 160        |
| 4.6.4        | MEMORY 指令 .....                   | 160        |
| 4.6.5        | SECTIONS 指令 .....                 | 161        |
| 4.7          | 一个完整的 TMS320C55x 汇编程序 .....       | 162        |
|              | 思考题与习题 .....                      | 164        |
| <b>第 5 章</b> | <b>集成开发环境 (CCS) .....</b>         | <b>165</b> |
| 5.1          | CCS 概述 .....                      | 165        |
| 5.1.1        | 集成开发环境 CCS 概述 .....               | 165        |
| 5.1.2        | CCS 软件的安装 .....                   | 166        |
| 5.1.3        | 配置 CCS .....                      | 167        |
| 5.2          | CCS 的基本操作 .....                   | 167        |
| 5.2.1        | 进入 CCS 主界面 .....                  | 167        |
| 5.2.2        | 源文件的建立、打开、关闭与编辑 .....             | 171        |
| 5.2.3        | 工程项目的创建、关闭和打开 .....               | 174        |
| 5.2.4        | 工程中文件的添加或删除 .....                 | 175        |
| 5.2.5        | 工程的构建(编译、链接) .....                | 177        |
| 5.3          | 工程项目的调试 .....                     | 178        |
| 5.3.1        | 程序的运行控制 .....                     | 179        |
| 5.3.2        | 断 点 .....                         | 180        |
| 5.3.3        | 反汇编窗口的使用 .....                    | 181        |
| 5.3.4        | 存储器窗口的使用 .....                    | 182        |
| 5.3.5        | 寄存器窗口的使用 .....                    | 184        |
| 5.3.6        | 观察窗口的使用 .....                     | 184        |
| 5.3.7        | 图形显示工具 .....                      | 185        |
| 5.3.8        | 探测点 .....                         | 186        |
| 5.3.9        | 软件仿真器分析(Simulator Analysis) ..... | 189        |
| 5.3.10       | 符号浏览器 .....                       | 191        |
|              | 思考题与习题 .....                      | 191        |
| <b>第 6 章</b> | <b>C/C++ 语言程序设计 .....</b>         | <b>192</b> |
| 6.1          | C55x C/C++ 语言概述 .....             | 192        |
| 6.1.1        | C/C++ 语言概况 .....                  | 192        |
| 6.1.2        | C55x C/C++ 语言概况 .....             | 192        |
| 6.2          | C55x C/C++ 语言编程基础 .....           | 193        |
| 6.2.1        | 数据类型 .....                        | 193        |
| 6.2.2        | 关键字 .....                         | 194        |

|              |   |            |
|--------------|---|------------|
| 6.2.3        | 寄存器变量和参数 .....                          | 195        |
| 6.2.4        | asm 指令 .....                            | 195        |
| 6.2.5        | Pragma 指令 .....                         | 195        |
| 6.2.6        | 标准 ANSIC 语言模式的改变(-pk、-pr 和-ps 选项) ..... | 196        |
| 6.2.7        | 存储器模式 .....                             | 197        |
| 6.2.8        | 存储器分配 .....                             | 197        |
| 6.2.9        | 中断处理 .....                              | 199        |
| 6.2.10       | 运行时间支持算法及转换程序 .....                     | 200        |
| 6.2.11       | 系统初始化 .....                             | 200        |
| 6.3          | C55x C/C++ 编译器的使用 .....                 | 203        |
| 6.3.1        | 编译器外壳程序 cl55 简介 .....                   | 203        |
| 6.3.2        | cl55 程序的选项 .....                        | 204        |
| 6.3.3        | 编译器和 CCS .....                          | 205        |
| 6.4          | C55x 的 C 代码优化 .....                     | 205        |
| 6.4.1        | 编译器的优化选项 .....                          | 206        |
| 6.4.2        | 嵌入函数(Inline Function) .....             | 207        |
| 6.4.3        | 优化 C 代码的主要方法 .....                      | 207        |
| 6.5          | C55x C 和汇编语言混合编程 .....                  | 213        |
| 6.5.1        | C 和汇编语言混合编程概述 .....                     | 213        |
| 6.5.2        | 寄存器规则 .....                             | 213        |
| 6.5.3        | 函数结构和调用规则 .....                         | 215        |
| 6.5.4        | C 和汇编语言的接口 .....                        | 218        |
|              | 思考题与习题 .....                            | 221        |
| <b>第 7 章</b> | <b>应用程序设计 .....</b>                     | <b>222</b> |
| 7.1          | 定标与溢出处理 .....                           | 222        |
| 7.1.1        | 数的定标 .....                              | 222        |
| 7.1.2        | 溢出的处理方法 .....                           | 223        |
| 7.1.3        | 常用信号处理算法中的定标方法 .....                    | 224        |
| 7.2          | 基础算术运算 .....                            | 225        |
| 7.2.1        | 加减运算 .....                              | 225        |
| 7.2.2        | 乘法运算 .....                              | 227        |
| 7.2.3        | 除法运算 .....                              | 228        |
| 7.2.4        | 小数乘法 .....                              | 233        |
| 7.3          | FIR 滤波器 .....                           | 234        |
| 7.3.1        | FIR 滤波器的基本结构 .....                      | 235        |
| 7.3.2        | FIR 滤波器的 C 语言编程实现 .....                 | 235        |
| 7.3.3        | FIR 滤波器的汇编语言编程实现 .....                  | 236        |
| 7.4          | IIR 滤波器 .....                           | 239        |

|              |                         |            |
|--------------|-------------------------|------------|
| 7.4.1        | 二阶 IIR 滤波器的结构 .....     | 239        |
| 7.4.2        | 高阶 IIR 滤波器的结构 .....     | 240        |
| 7.4.3        | IIR 滤波器的 C 语言实现 .....   | 242        |
| 7.4.4        | IIR 滤波器的汇编语言实现 .....    | 243        |
| 7.5          | 快速傅里叶变换 FFT .....       | 245        |
| 7.5.1        | FFT 算法原理 .....          | 245        |
| 7.5.2        | 库利-图基算法 .....           | 246        |
| 7.5.3        | FFT 算法的实现 .....         | 247        |
|              | 思考题与习题 .....            | 251        |
| <b>第 8 章</b> | <b>C55x 的片上外设 .....</b> | <b>253</b> |
| 8.1          | 时钟发生器 .....             | 253        |
| 8.1.1        | 时钟发生器概况 .....           | 253        |
| 8.1.2        | 时钟工作模式 .....            | 253        |
| 8.1.3        | CLKOUT 输出 .....         | 254        |
| 8.1.4        | 使用方法 .....              | 254        |
| 8.2          | 通用定时器 .....             | 256        |
| 8.2.1        | 通用定时器概况 .....           | 256        |
| 8.2.2        | 工作原理 .....              | 256        |
| 8.2.3        | 定时器使用要点 .....           | 258        |
| 8.2.4        | 通用定时器应用实例 .....         | 259        |
| 8.3          | 通用 I/O 口(GPIO) .....    | 261        |
| 8.4          | 外部存储器接口(EMIF) .....     | 262        |
| 8.4.1        | EMIF 概况 .....           | 262        |
| 8.4.2        | EMIF 请求的优先级 .....       | 264        |
| 8.4.3        | 对存储器的考虑 .....           | 264        |
| 8.4.4        | 程序和数据访问 .....           | 265        |
| 8.4.5        | EMIF 中的控制寄存器 .....      | 268        |
| 8.5          | 多通道缓冲串口 McBSP .....     | 274        |
| 8.5.1        | McBSP 概述 .....          | 274        |
| 8.5.2        | McBSP 组成框图 .....        | 274        |
| 8.5.3        | 采样率发生器 .....            | 275        |
| 8.5.4        | 多通道模式选择 .....           | 277        |
| 8.5.5        | 异常处理 .....              | 278        |
| 8.5.6        | McBSP 寄存器 .....         | 279        |
| 8.6          | 模/数转换器(ADC) .....       | 285        |
| 8.6.1        | ADC 的结构和时序 .....        | 285        |
| 8.6.2        | ADC 的寄存器 .....          | 286        |
| 8.6.3        | 实 例 .....               | 287        |

|               |                         |            |
|---------------|-------------------------|------------|
| 8.7           | 看门狗定时器(Watchdog)        | 288        |
| 8.7.1         | 看门狗定时器概述                | 288        |
| 8.7.2         | 看门狗定时器的配置               | 289        |
| 8.7.3         | 看门狗定时器的寄存器              | 290        |
| 8.8           | I <sup>2</sup> C 模块     | 292        |
| 8.8.1         | I <sup>2</sup> C 模块简介   | 292        |
| 8.8.2         | I <sup>2</sup> C 模块工作原理 | 292        |
| 8.8.3         | I <sup>2</sup> C 寄存器    | 295        |
|               | 思考题与习题                  | 296        |
| <b>第 9 章</b>  | <b>C55x 的硬件扩展</b>       | <b>297</b> |
| 9.1           | 硬件设计概述                  | 297        |
| 9.1.1         | C55x DSP 系统的组成          | 297        |
| 9.1.2         | DSP 硬件系统设计流程            | 298        |
| 9.2           | DSP 系统的基本电路设计           | 299        |
| 9.2.1         | JTAG 接口                 | 299        |
| 9.2.2         | 电源电路                    | 300        |
| 9.2.3         | 复位电路                    | 302        |
| 9.2.4         | 时钟电路                    | 303        |
| 9.3           | 外部程序存储器的扩展              | 304        |
| 9.3.1         | EMIF 和异步存储器的连接          | 304        |
| 9.3.2         | 闪存 S29AL008D 简介         | 305        |
| 9.3.3         | VC5509A 与 S29AL008D 的接口 | 308        |
| 9.4           | 外部数据存储器的扩展              | 309        |
| 9.4.1         | 同步动态随机存取存储器(SDRAM)      | 309        |
| 9.4.2         | C55x EMIF 的 SDRAM 接口信号  | 311        |
| 9.4.3         | C55x EMIF 与 SDRAM 的接口   | 312        |
| 9.5           | C55x 与 A/D 和 D/A 转换器的接口 | 315        |
| 9.5.1         | TLV320AIC23B 简介         | 315        |
| 9.5.2         | AIC23B 的控制寄存器           | 318        |
| 9.5.3         | AIC23B 与 C55x 的控制接口     | 322        |
| 9.5.4         | AIC23B 与 C55x 的数据接口     | 323        |
| 9.5.5         | AIC23B 的模拟接口            | 324        |
|               | 思考题与习题                  | 325        |
| <b>第 10 章</b> | <b>C55x 应用系统设计实例</b>    | <b>326</b> |
| 10.1          | 典型 DSP 板的硬件设计           | 326        |
| 10.1.1        | 概 述                     | 326        |
| 10.1.2        | 基本电路模块                  | 327        |

|        |                           |     |
|--------|---------------------------|-----|
| 10.1.3 | FLASH 电路模块 .....          | 328 |
| 10.1.4 | SDRAM 电路模块 .....          | 328 |
| 10.1.5 | 数/模转换电路 .....             | 328 |
| 10.1.6 | SD 卡接口电路 .....            | 328 |
| 10.1.7 | USB 接口电路 .....            | 330 |
| 10.1.8 | 自启动电路模块 .....             | 331 |
| 10.2   | CPLD 电路模块设计 .....         | 332 |
| 10.2.1 | 概 述 .....                 | 332 |
| 10.2.2 | 复位逻辑 .....                | 332 |
| 10.2.3 | 控制寄存器的地址生成 .....          | 333 |
| 10.2.4 | 用户寄存器 .....               | 334 |
| 10.2.5 | FLASH 高位地址寄存器 .....       | 334 |
| 10.2.6 | 控制寄存器数据的输出 .....          | 335 |
| 10.3   | DSP 板测试程序 .....           | 335 |
| 10.3.1 | LED 灯和拨码开关测试程序 .....      | 335 |
| 10.3.2 | GPIO 测试程序 .....           | 336 |
| 10.3.3 | SDRAM 测试程序 .....          | 337 |
| 10.3.4 | FLASH 测试程序 .....          | 338 |
| 10.3.5 | AIC23B 测试程序 .....         | 338 |
| 10.4   | 综合设计实例 1:自适应系统辨识 .....    | 339 |
| 10.4.1 | 基于 LMS 算法的自适应滤波器 .....    | 339 |
| 10.4.2 | 自适应系统辨识算法 .....           | 340 |
| 10.4.3 | 辨识系统硬件设计 .....            | 340 |
| 10.4.4 | 辨识系统软件设计 .....            | 341 |
| 10.5   | 综合设计实例 2:数字式有源抗噪声耳罩 ..... | 344 |
| 10.5.1 | 概 述 .....                 | 344 |
| 10.5.2 | 系统工作原理和控制算法 .....         | 345 |
| 10.5.3 | 硬件设计 .....                | 347 |
| 10.5.4 | 软件设计 .....                | 349 |
|        | 参考文献 .....                | 352 |

# 第 1 章

## 绪 论

**内容提要：**本章主要对数字信号处理器(DSP)进行简要介绍。首先介绍了 DSP 的基本概念;接着介绍了 DSP 芯片,并对 DSP 芯片的发展、特点和分类作了论述;最后对 DSP 产品作了简要介绍。

### 1.1 DSP 的基本概念

数字化已成为现代信息技术的重要标志,是电子产品高品质的象征。数字相机、数字电视、数字收音机、数字电话、数字学习机、数字游戏机已逐渐进入人们日常工作和生活中。在我国数字电话已拥有数亿用户,MP3 成为上亿青年学生的宠儿,数字电视也开始进入千家万户,这些产品均采用了数字信号处理技术对信号进行处理。

图 1-1 给出了一个典型的数字信号处理系统,它由抗混叠滤波器、A/D 转换器、微处理器、D/A 转换器和平滑滤波器等部分组成。首先,由抗混叠滤波器和 A/D 转换器把来自现实世界的模拟信号  $x(t)$  转化成数字信号  $x(n)$ ,再由微处理器对  $x(n)$  进行数字化处理,得到数字化的输出信号  $y(n)$ ,最后将  $y(n)$  经 D/A 转换器和平滑滤波器转化成模拟信号  $y(t)$  送回现实世界。这里,抗混叠滤波器、A/D 转换器和 D/A 转换器、平滑滤波器是微处理器与现实模拟世界的桥梁。微处理器是数字信号处理系统的核心部件。

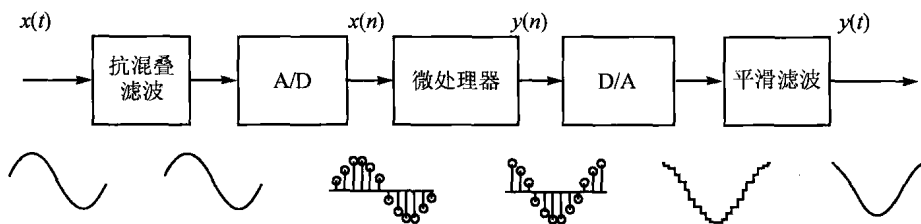


图 1-1 典型数字信号处理系统框图

微处理器可以对信号进行各种各样的处理,式(1-1)给出了一个典型的数字信号处理算法:

$$y(n) = \sum_{i=0}^{L-1} h_i x(n-i) \quad (1-1)$$

这是一个阶数为  $L$  的 FIR 滤波器,其中  $h_i (i=0,1,\dots,L-1)$  为滤波器系数。当  $h_i$  取不同的值时,该 FIR 滤波器就可以完成不同的信号处理任务。完成一个样值的处理,需要进行  $L$  次乘法和  $L-1$  次加法。

在数字信号处理系统中微处理器可有多种选择。例如:

(1) 通用微型计算机(PC机)。优点是软件编程容易,便于实现,缺点是速度慢、成本高、体积大,难以进行实时信号处理和嵌入式应用,通常用来进行算法仿真。如果在通用计算机上加入专用加速处理器,就可以弥补速度慢的缺点。

(2) 普通单片机(如MCS-51、96系列等)。优点是成本低廉,缺点是性能差、速度慢,只能完成一些极为简单的信号处理任务。

(3) 专用集成电路 ASIC(Application Specific Integrated Circuit)。信号处理算法由硬件电路实现,无须编程。优点是速度快、大规模生产时成本低,缺点是开发成本高、通用性差。随着ASIC的广泛应用和技术进步,已经可以把DSP的功能集成到ASIC中。这种方法目前正在迅速发展,是DSP技术的重要发展方向。

(4) DSP处理器。DSP处理器是针对数字信号处理的要求而设计的一类特殊的计算机芯片,具有灵活、高速、便于嵌入式应用等优点,是数字信号处理系统中采用的主流芯片。

英文中DSP既可以代表数字信号处理(Digital Signal Processing),也可以代表数字信号处理器(Digital Signal Processor)。前者是指数字信号处理的理论和算法,后者是指实现数字信号处理算法的微处理器芯片。

数字信号处理具有灵活、精确和重复性好等诸多优良特性,这些都是模拟信号处理方法所无法比拟的。在电子信息、通信、计算机、仪器设备、自动控制、医学、消费类电子和军事等领域数字信号处理起着越来越重要的作用。

## 1.2 DSP 芯片简介

### 1.2.1 DSP 芯片的发展历史、现状和趋势

#### 1. DSP 芯片的发展历史

DSP芯片诞生于20世纪70年代末。近30年来,DSP芯片得到了迅猛发展,标志性产品简述如下:

1978年,AMI公司生产出第一个DSP芯片S2811。1979年,美国Intel公司推出了商用可编程器件DSP芯片Intel2920。S2811和Intel2920是DSP芯片的一个重要里程碑,但它们没有单周期硬件乘法器,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,单指令周期为200~500 ns,应用领域仅局限于军事和航空航天部门。

1980年,日本NEC公司推出 $\mu$ PD7720,这是第一个具有乘法器的商用DSP芯片。1982年,TI公司成功地推出了其第一代DSP芯片TMS32010及其系列产品TMS32011、TMS320C10/C14/C15/C16/C17。日本Hitachi公司第一个采用CMOS工艺生产出浮点DSP芯片。1983年,日本Fujitsu公司推出的MB8764,指令周期为120 ns,具有双内部总线,使数据吞吐量发生了一个飞跃。1984年,AT&T公司推出了DSP32,它是较早具备较高性能的浮点DSP芯片。

20世纪80年代后期和90年代初期,DSP在硬件结构上更适合数字信号处理的要求,能进行硬件乘法和单指令滤波处理,其单指令周期为80~100 ns。TI公司的TMS320C20和TMS320C30,采用了CMOS制造工艺,其存储容量和运算速度成倍提高,为语音处理和图像



处理技术的发展奠定了基础。伴随着运算速度的进一步提高,其应用范围也逐步扩大到通信和计算机领域。这个时期的DSP主要有:TI公司的TMS320C20、30、40和50系列,Freescale公司的DSP5600和9600系列,AT&T公司的DSP32等。

20世纪末,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,功耗也进一步降低,成本不断下降。尤其是将各种通用外设集成到芯片上,从而大大提高了数字信号的处理能力。这一时期的DSP运算速度可达到单指令周期10 ns左右,并可在Windows环境下直接用C语言编程,使用方便灵活。DSP芯片不仅在通信、计算机领域得到了广泛的应用,而且也逐渐渗透到人们的日常消费领域中。

## 2. DSP芯片的发展现状

(1) 制造工艺。现在的DSP芯片普遍采用亚微米0.25  $\mu\text{m}$ 、0.18  $\mu\text{m}$ 甚至90 nm的CMOS工艺。芯片引脚从原来的40个增加到200个以上,需要设计的外围电路越来越少,成本、体积和功耗不断下降。

(2) 存储器容量。目前,DSP芯片的片内程序和数据存储器可达到几十K字,而片外程序存储器和数据存储器允许扩展到16M $\times$ 48 bit和4G $\times$ 40 bit以上。

(3) 内部结构。目前,DSP芯片内部均采用多总线、多处理单元和多级流水线结构,加上完善的接口功能,使DSP的系统功能、数据处理能力和与外部设备的通信功能都有了很大的提高。

(4) 运算速度。近30年的发展,使DSP的指令周期从400 ns缩短到10 ns以下,其相应的速度从2.5 MIPS提高到2 000 MIPS以上。如TMS320C6201执行一次1 024点复数FFT运算的时间只有66  $\mu\text{s}$ 。

(5) 高度集成化。集滤波、A/D、D/A、ROM、RAM和DSP内核于一体的模拟混合式DSP芯片已有较大的发展和应用。TI公司在2005年12月发布的达芬奇系统已经把音视频部件集成在了DSP片内。

(6) 运算精度和动态范围。DSP的字长从8位已增加到64位,累加器的长度也增加到40位,从而提高了运算精度。同时,采用超长字指令字(VLIW)结构和高性能的浮点运算,扩大了数据处理的动态范围。

(7) 开发工具。具有较完善的软件和硬件开发工具,如:软件仿真器 Simulator、在线仿真器 Emulator、C编译器和集成开发环境 CCS等,给开发应用带来了很大方便。其中CCS是TI公司针对本公司的DSP产品开发的集成开发环境,它集成了代码的编辑、编译、链接和调试等诸多功能,而且支持C/C++和汇编的混合编程,开放式的结构允许用户外扩自身的模块。

## 3. DSP技术的发展趋势

DSP产品将向着高性能、低功耗、加强融合和拓展多种应用的趋势发展,DSP芯片将越来越多地渗透到各种电子产品当中,成为各种电子产品尤其是通信、音视频和娱乐类电子产品的技术核心。DSP技术的发展趋势如下:

(1) DSP的内核结构将进一步改善。多通道结构和单指令多重数据(SIMD)、特大指令字组(VLIM)将在新的高性能处理器中占主导地位。

(2) DSP和微控制器的融合。微控制器是一种执行智能定向控制任务的通用微处理器,它能很好地执行智能控制任务,但是对数字信号的处理功能很差。DSP芯片具有高速的数字