



TMS320C55x DSP

原理、应用和设计



胡庆钟 李小刚 吴钰淳 等编著

TMS320C55x DSP 原理、应用和设计

胡庆钟 李小刚 吴钰淳 等编著



机械工业出版社

本书介绍了目前通信系统中使用最广泛的 TI 公司的 C5000 系列 DSP。全书共 8 章, 在介绍了数字信号处理系统后, 介绍了如何入手开发 DSP 系统, 并以 TMS320C55x 为例, 介绍了 DSP 的体系结构、DSP 应用电路设计、CCS/CCS2 集成开发环境、汇编语言程序设计和 C 语言程序设计开发 DSP 系统, 并在最后给出了应用 TMS320C55x 的两个实例。

本书可以作为高等院校电子科学与技术、通信系统工程、自动化等专业师生学习数字信号处理器的参考书, 也可以作为相关工程领域技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

TMS320C55x DSP 原理、应用和设计/胡庆钟等编著. —北京: 机械工业出版社, 2005.10

ISBN 7 - 111 - 17552 - 2

I. T... II. 胡... III. 数字信号 - 信息处理系统 IV. TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 117418 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: 张俊红

责任编辑: 赵玲丽 版式设计: 张世琴 责任校对: 李秋荣

封面设计: 马精明 责任印制: 杨 曦

北京机工印刷厂印刷

2006 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

787mm × 1092mm¹/₁₆ · 16.5 印张 · 409 千字

0 001—4 000 册

定价: 27.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68326294

封面防伪标均为盗版

前言

信息化的基础是数字化。数字化的核心技术之一是数字信号处理。数字信号处理的任务在很大程度上需要由数字信号处理器 (DSP) 来完成。DSP 技术已成为人们日益关注并得到迅速发展的前沿技术。在通信、数码产品、数字电视、工业控制、精密仪器乃至航空航天领域中, DSP 都得到了非常广泛的应用。在移动通信中, DSP 主要应用于数字基带信号处理, 包括信源编码和解码 (语音编解码)、信道编解码 (卷积编码、块交织、维特比译码)、调制解调 (QDPSK、GMSK、BPSK/QPSK 等) 以及均衡、误差校正、加解密、校验等。目前集成 DSP 和 RISC 处理器的双核结构正在成为第三代移动通信的无线通信开发平台。

在目前的 DSP 市场中, 德州仪器 (TI) 公司占有最大的份额, 是 DSP 行业的领头羊。在 TI 公司的三大主力产品中, C5000 系列是低功耗定点系列, 主要用于手持式通信产品中。TMS320C55x 为其第三代产品, 在以前出版的 DSP 书籍中关于这种 DSP 的专门介绍比较少。而 TMS320C55x 多核系列是 TI 公司为第三代移动通信设备力推的 DSP (OMAP59x 系列) 的内核之一, 已经开始在第三代移动通信系统中占据越来越重要的地位, 目前 OMAP59x 系列已占据第三代移动通信系统 50% 的份额。因此, 本书将对 OMAP59x 系列的体系结构进行介绍。

本书第 1 章简要介绍了数字信号处理系统的基本组成和 DSP 芯片; 第 2 章针对初学者, 从如何入手开发 DSP 系统的角度来介绍 DSP 的开发流程, 给出了如何最快地开始硬件设计和软件设计的指南; 第 3 章以 TMS320C55x 为例, 阐述了 DSP 的体系结构, 介绍了内部单元和引脚功能、总线结构、流水线、存储器、片内外设, 并对目前 TI 公司为第三代移动通信设备推出的 DSP (OMAP59x 系列) 体系结构加以简单介绍; 第 4 章介绍了 DSP 应用电路中的电源电路、时钟电路和复位电路的设计, 以及电路的抗干扰技术; 第 5 章对 TI 公司推出的应用最为广泛的 CCS/CCS2 集成开发环境做了简要介绍, 并涉及到了 DSP/BIOS 应用; 第 6 章和第 7 章分别介绍了用汇编语言程序设计和 C 语言程序设计开发 DSP 系统, 在目前 TI 公司 DSP 的 C 语言程序编译效率越来越高的情况下, 重点介绍了 TMS320C55x 的 C 代码优化和 TMS320C55x 的 C 语言和汇编语言混合编程; 在最后的第 8 章中, 给出了应用 TMS320C55x 的两个实例, 帮助 DSP 的应用和设计人员迅速掌握 TMS320C55x 的开发应用。

本书可以作为高等院校电子科学与技术、通信系统工程、自动化等专业师生学习数字信号处理器的参考书。由于涉及了目前工程领域的相关内容, 因此本书也可作为 DSP 应用领域相关工程技术人员的参考书。

本书由胡庆钟、李小刚、吴钰淳、许俊杰、傅歌等共同执笔完成。其中, 第 1、3 章由胡庆钟编写, 第 6、7 章由李小刚编写, 第 5、8 章由吴钰淳编写, 第 4 章由许俊杰编写, 第 2 章由傅歌编写。全书最后由刘秀文统稿, 并完成整理工作。

最后, 本书虽然经过仔细推敲, 但由于笔者水平有限, 另外, 本书在编写过程中得到了张睿、吴鹏、程显奎、刘敬、李向阳、潘天保、李玉红、朱长才、吴旭清、姜海燕、赵海波、胡显、严喆、王栋、王艳、杨义军的帮助, 在此表示衷心感谢。书中定会有不当或者欠妥之处, 望读者给予批评指正。

作者

目 录

前言

第1章 概述 1

- 1.1 数字信号处理技术概述 1
- 1.2 数字信号处理系统的基本组成 1
- 1.3 DSP 芯片概述 2
- 1.4 数字信号处理的应用 6

第2章 设计开发一个 DSP 系统 7

- 2.1 如何获取技术参考资料以及得到
 相关源码 7
- 2.2 DSP 选型 7
- 2.3 DSP 系统开发流程 12
- 2.4 如何开始硬件设计 14
- 2.5 如何开始软件开发 15
- 2.6 一个简单的 DSP 系统 19

第3章 DSP 体系结构和硬件开发 22

- 3.1 DSP 芯片体系结构概述 22
- 3.2 TMS320C55x 体系结构 23
 - 3.2.1 TMS320C55x 内部结构框图 24
 - 3.2.2 TMS320C55x 引脚功能介绍 26
 - 3.2.3 TMS320C55x 中央处理单元 32
 - 3.2.4 TMS320C55x 总线结构 37
 - 3.2.5 TMS320C55x 流水线操作 37
- 3.3 TMS320C55xTM 存储器空间 40
- 3.4 TMS320C55x 片内外设 41
 - 3.4.1 模数转换器 (ADC) 42
 - 3.4.2 数字锁相环时钟产生器 47
 - 3.4.3 存储器直接访问 (DMA) 控制
 器 49
 - 3.4.4 指令缓存 56
 - 3.4.5 实时时钟 (RTC) 60
 - 3.4.6 增强主机接口 (EHPI) 63
 - 3.4.7 看门狗定时器 66
 - 3.4.8 多通道缓冲串行口

(McBSP) 69

3.4.9 通用定时器 74

3.5 TMS320C55x 外部存储器接口
(EMIF) 77

3.5.1 功能与作用 77

3.5.2 EMIF 中的寄存器 79

3.5.3 异步存储器的配置和连接 80

3.5.4 同步突发静态随机存储器
(SBSRAM) 的配置和连接 80

3.5.5 同步动态随机存储器 (SDRAM)
 的配置和连接 81

3.6 OMAP5910 体系结构简介 85

3.6.1 OMAP5910 的体系结构 87

3.6.2 OMAP5910 的软件结构 89

3.6.3 OMAP 平台的开放性 92

第4章 DSP 电路设计 94

4.1 DSP 最小系统的搭建 94

4.2 TMS320C55x 电源电路 96

4.2.1 对电源电压及电流要求 96

4.2.2 电源产生电路 96

4.3 TMS320C55x 时钟电路和复位电路 97

4.3.1 振荡与时钟电路 97

4.3.2 复位和看门狗电路 99

4.4 可编程逻辑器件 CPLD/FPGA 的
 应用 100

4.4.1 FPGA/CPLD 的设计流程 100

4.4.2 一个基于 FPGA 和 DSP 的雷达
 信号处理系统的设计 102

4.5 电路的抗干扰技术 104

4.5.1 干扰的来源和后果 104

4.5.2 系统电源抗干扰设计 105

4.5.3 硬件抗干扰设计 105

4.5.4 软件抗干扰设计 105

4.5.5 输入输出信号抗干扰措施 106

第5章 DSP集成开发环境	107	6.2 TMS320C55x 寻址方式	147
5.1 DSP集成开发环境概述	107	6.2.1 绝对寻址模式	147
5.2 CCS2的安装和设置	108	6.2.2 直接寻址模式	148
5.2.1 CCS软件的安装	108	6.2.3 间接寻址模式	149
5.2.2 安装CCS配置程序	108	6.3 TMS320C55x 汇编指令系统	152
5.3 CCS2的基本操作	111	6.3.1 TMS320C55x 汇编语言格式	152
5.3.1 建立一个新的工程	111	6.3.2 TMS320C55x 指令系统中使用的 符号	152
5.3.2 向工程文件中添加文件的基本 操作	112	6.3.3 相关的状态位	154
5.3.3 建立和运行程序的基本操作	115	6.3.4 指令集语法	156
5.3.4 改变程序选项,并修改语法错误 的基本操作	116	6.3.5 算术运算指令	157
5.3.5 断点和观察窗的使用方法	117	6.3.6 位操作指令	175
5.3.6 探针点的使用方法	118	6.3.7 扩展辅助寄存器指令	178
5.3.7 图形显示工具的用法	119	6.3.8 逻辑运算指令	179
5.3.8 在观察窗中观察和修改变量的 基本操作	120	6.3.9 传输指令	181
5.3.9 GEL工具的使用方法	121	6.3.10 程序控制指令	189
5.4 DSP/BIOS的应用	124	6.4 TMS320C55x 汇编宏指令	191
5.4.1 DSP/BIOS简介	124	6.5 TMS320C55x 汇编伪指令	196
5.4.2 DSP/BIOS的性能演示	125	6.5.1 编译指令	196
5.4.3 DSP/BIOS组件	131	6.5.2 连接指令	198
5.5 CCS2数据实时交换(RTDX)	133	6.6 TMS320C55x 目标文件格式	201
5.5.1 RTDX概述	133	6.6.1 COFF的段	201
5.5.2 RTDX的使用	134	6.6.2 编译器如何处理段	202
5.6 软件调试	135	6.6.3 连接器如何处理段	205
5.6.1 断点	136	第7章 C语言程序设计	207
5.6.2 观察窗	136	7.1 C语言程序设计概述	207
5.6.3 探针点	137	7.1.1 TMS320C55x C语言概况及特点	207
5.6.4 软件仿真器分析	138	7.1.2 C语言基本语法概要	207
5.6.5 图形显示工具	139	7.2 TMS320C55x C语言开发	208
5.6.6 符号浏览器	140	7.2.1 TMS320C55x C语言概况及特点	208
5.6.7 命令窗口	141	7.2.2 C55x DSP C代码书写的普遍 问题	214
5.7 硬件仿真分析	142	7.2.3 DSP C运行时间环境	217
5.7.1 硬件仿真概述	142	7.3 TMS320C55x C代码优化	224
5.7.2 C55x总线工作方式	142	7.3.1 C55x C代码优化步骤	224
5.7.3 硬件仿真分析	143	7.3.2 编译C代码	224
第6章 汇编语言程序设计	146	7.3.3 剖切C代码	227
6.1 汇编语言程序设计概述	146	7.3.4 改进C代码	227
6.1.1 汇编语言特点	146	7.3.5 存储器管理问题	231
6.1.2 TMS320C55x汇编语言	146	7.4 TMS320C55x C和汇编语言混合 编程	234
		7.4.1 TMS320C55x C和汇编语言混	

合编程概述	234	8.1.1 FIR 滤波器原理	242
7.4.2 寄存器规则	234	8.1.2 FIR 滤波器的 DSP 程序设 计	244
7.4.3 函数结构和调用规则	236	8.2 FFT 算法的原理和实现	249
7.4.4 C 和汇编语言的接口	239	8.2.1 FFT 算法原理	249
第 8 章 应用程序设计实例	242	8.2.2 FFT 算法实现	251
8.1 FIR 滤波器的 DSP 程序设计 分析	242	参考文献	258

第 1 章 概 述

1.1 数字信号处理技术概述

DSP 是数字信号处理 (Digital Signal Processing) 或数字信号处理器 (Digital Signal Processor) 的缩写。数字信号处理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, 并得到迅速发展。在过去的 20 多年时间里, 数字信号处理已经在通信等领域得到极为广泛的应用。

数字信号处理是把信号用数字的形式表示出来, 利用计算机或信号处理设备, 对信号进行采集、变换、滤波、压缩、增强、识别等处理, 以提取有用的成分和形式。随着计算机、微电子和通信技术的发展, 数字信号处理理论和技术得到迅速发展和不断完善, 特别是在过去 20 多年内, 在工业控制、生活消费中应用日益广泛。

数字信号处理学科的内容和研究范围包括数字滤波、信号采集、离散时间信号时域和频域分析、傅里叶变换、自适应信号处理、信号压缩、信号建模、信号处理算法等等。数字信号处理技术涉及众多的学科, 如概率统计、数值分析、控制论、系统论等等。数字信号处理以这些学科作为自己的理论基础, 同时数字信号处理理论和应用的发展又促进了一系列新兴学科的发展, 如通信技术、模式识别等等。总的来说, 数字信号处理作为一门学科是在与其他许多相关学科相互促进下不断发展的。

1.2 数字信号处理系统的基本组成

通常, 数字信号处理系统由以下几部分构成: 前置滤波、A/D 转换、数字信号处理器 (DSP)、D/A 转换、后置滤波。其中, 前置滤波主要是将高于某一频率的分量滤掉, 然后对信号进行采样 (即把连续信号离散化)。A/D 转换将离散信号变成数字信号。数字信号处理器是系统的核心, 通过它对信号进行加工处理。D/A 转换将数字信号处理器输出的数字信号转变为模拟信号。后置滤波为平滑滤波, 滤去不必要的高频分量, 得到平滑连续的模拟信号。实际的系统不一定都包含这几个部分, 比如说, 有些系统输入的就是数字信号, 那么前置滤波和 A/D 转换就不需要了。

图 1-1 所示为一个典型的 DSP 系统。图中的输入信号可以有各种各样的形式。例如, 它可以是语音信号、传真信号, 也可以是视频信号, 还可以是传感器的输出信号。

图 1-2 所示为用 TMS320C6201 实现的软件无线电数字声音广播 (Digital Audio Broadcasting, DAB) 接收机, 数字中频信号由 FPGA 实现的数字下变频器解调成为 I/Q 两路正交的基带信号, TMS320C6201 则主要用于处理该基带信号。

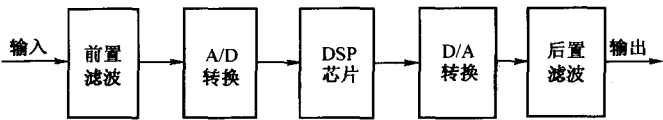


图 1-1 典型的 DSP 系统构成

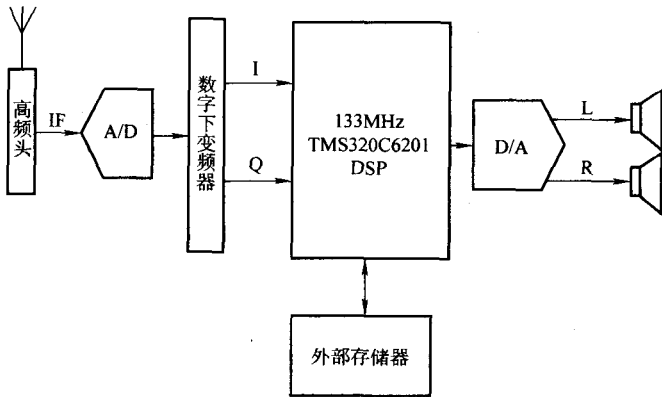


图 1-2 用 TMS320C6201 实现的软件无线电 DAB 接收机

1.3 DSP 芯片概述

数字信号处理器是数字信号处理系统的核心。常用的数字信号处理器有通用 DSP 芯片、专用 DSP 芯片、通用处理器（GPP）、通用单片机，如表 1-1 所示。

表 1-1 常用数字信号处理器

类 型	特 点	备 注
通用 DSP 芯片	具有适合于数字信号处理的软硬件资源，可用于复杂的数字信号处理算法	应用广泛，性价比高。方便用于嵌入式设备
专用 DSP 芯片	针对专门的信号处理算法设计，在芯片内部用硬件实现这些算法，如卷积、数字滤波等	用于专门的 DSP 算法，使用上受到限制
通用处理器	用软件实现	可用于算法模拟，速度较慢。可加上专用的加速处理器
通用单片机	用于简单的数字信号处理，如电动机控制等	只能用于简单的算法

在现代通信技术中，有很多结构复杂但是有规则的运算在数字信号处理过程中大量地重复发生，比如 MAC（一次乘法和一次加法）： $Y = H \times X + C$ 。如果用通用 CPU，数字信号处理速度较慢，一般只可能用于 DSP 算法的模拟；专用 DSP 专用性强，应用受到很大的限制；而单片机只适用于实现简单的 DSP 算法；只有通用 DSP 才使数字信号处理真正得到实际有效的最广泛的应用。

针对 DSP 需要的算法特点，DSP 在功能上与通用的 MCU 相比，作了下列几方面的改进：

- 1) 扩充运算能力: 增加字长, 乘法保留双字长, 有双精度运算;
- 2) 自动产生数据地址: 专用的地址生成单元可以产生循环地址和非顺序地址;
- 3) 指令定序不对其他主要运算造成额外开销;
- 4) 简单的比例定标运算得到宽的动态范围。

总体而言, DSP 和通用处理器, 以及通用单片机各有所长, 但相互渗透、借鉴和交融, 形成各自特点。在下面, 我们所说的 DSP 均指通用 DSP 芯片。

1. DSP 芯片的发展

从整体而言, DSP 问世至今, 已经历 5 代:

第 1 代 (1978 ~ 1982 年) ——1978 年 AMI 公司成功地将 DSP 技术集成化, 第 2 年 Bell 实验室开发出首个 DSP。这个时期为理论运算时期, 产品缺乏平行处理能力, 芯片内存储容量小, 须外接昂贵的存储芯片方能应用。

第 2 代 (1982 ~ 1986 年) ——1982 年德州仪器 (TI) 公司上市首款通用 DSP, 1984 年 Bell 研究所推出第 1 个 32 位 DSP, 1986 年 Motorola 公司宣布 24 位可编程 DSP。DSP 具有乘法累加器、直接存储器存取、串行通信端口、定时器和中断等功能, 强化了它在系统中的控制作用。

第 3 代 (1986 ~ 1990 年) ——TI 公司产品被列为学校教材。TI、ATT Microelectronics 和 Zoran 公司分别开发出 32 位浮点 DSP, 可实时进行图像处理。

第 4 代 (1990 ~ 1994 年) ——ADI 公司和 Motorola 公司推出包含调制解调电路的 DSP。DSP 内有闪存、DRAM、一次可编程等多种存储器可供选择。

第 5 代 (1994 至今) ——TI 公司发表 DSP OMAP 平台, 1999 年 Agere 公司、Motorola 公司携手, 2000 年 Intel 公司与 ADI 公司结盟, 翌年推出 Blackfin 架构, 2002 年 6 月, Agere 公司、Motorola 公司和 Infineon 公司合资成立 StarCore DSP 研发中心。随着 TI 公司市场份额的不断增大, 各公司相互结成策略联盟共同推出新平台。DSP 市场虽曾一度陷入不景, 但各公司仍加紧研发, 迎接光明未来。与此同时, 人们还应看到在通信领域 DSP 尚面临着现场可编程门阵列 (FPGA)、专用集成电路 (ASIC) 等技术的挑战。

TI 公司的主要产品包括第 1 代 DSP 芯片——TMS320C10/C14/C15/C16/C17 等; 第 2 代 DSP 芯片——TMS320C20、TMS320C25/C26/C28 等; 第 3 代 DSP 芯片——TMS320C30/C31/C32/C33 等; 第 4 代 DSP 芯片——TMS320C40/C44 等; 第 5 代 DSP 芯片——TMS320C50/C51/C52/C53 等、集多个 DSP 核于一体的高性能 DSP 芯片——TMS320C80/C82 等。目前, TI 公司有 3 大系列产品, 即:

- 1) 面向数字控制、运动控制的 TMS320C2000 系列, 主要包括 TMS320C24x/F24x、TMS320LC240x/LF240x、TMS320LC240xA/LF240xA、TMS320F28xx 等;
- 2) 面向低功耗、手持设备、无线终端应用的 TMS320C5000 系列, 主要包括 TMS320C54x、TMS320C54xx、TMS320C55x 等;
- 3) 面向高性能、多功能、复杂应用领域的 TMS320C6000 系列, 主要包括 TMS320C62xx、TMS320C64xx、TMS320C67xx 等。

DSP 芯片从出现到现在的 20 多年时间里, 已有 20 ~ 30 家厂商推出了上百种型号的产品。除了 TI 公司的 TMS320 系列 DSP 芯片外, 其他有代表性并获得广泛应用的 DSP 系列芯片主要有 Motorola 公司的 MC56/96 系列、ADI 公司的 ADSP21 系列等。TI 公司 DSP 芯片的比较

如表 1-2 所示。

表 1-2 TI 公司 DSP 芯片比较表

年 份	1982 年	1992 年	2005 年
制造工艺	4 μ m NMOS	0.8 μ m CMOS	0.13 μ m CMOS
运算速度/MIPS	5	40	400
工作频率/MHz	20	80	200
内部 RAM/字	144	1 000	160 000
内部 ROM/字	1 500	4 000	16 000
价格/美元	150	15	5 ~ 25
功耗/(mW/MIPS)	250	12.5	0.22
集成晶体管数/个	50 000	500 000	50 000 000

自 1980 年以来, DSP 芯片得到了突飞猛进的发展, DSP 芯片的应用越来越广泛。从运算速度来看, MAC 时间已经从 20 世纪 80 年代初的 400ns (如 TMS32010) 降低到 10ns 以下 (如 TMS320C54x、TMS320C62x/67x 等), 处理能力提高了几十倍。DSP 芯片内部关键的乘法器部件从 1980 年的占模片区 (die area) 的 40% 左右下降到 5% 以下, 片内 RAM 数量增加一个数量级以上。从制造工艺来看, 1980 年采用 4 μ m 的 N 沟道 MOS (NMOS) 工艺, 而现在则普遍采用亚微米 (Micron) 的 CMOS 工艺, 达到 0.13 μ m。DSP 芯片的引脚数量从 1980 年的最多 64 个增加到现在的 200 个以上, 引脚数量的增加, 意味着结构灵活性的增加, 如外部存储器的扩展和处理器间的通信等。此外, DSP 芯片的发展使 DSP 系统的成本、体积、重量和功耗都有很大程度的下降。

2. DSP 芯片的分类

通常是根据 DSP 芯片工作的数据格式来分类的。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 TMS320C54x/C62xx 等。数据以浮点格式工作的 DSP 芯片称为浮点 DSP 芯片。不同的浮点 DSP 芯片所采用的浮点格式也不完全一样, 有的 DSP 芯片采用自定义的浮点格式, 如 TI 公司的 TMS320C3x, 有的 DSP 芯片则采用 IEEE 的标准浮点格式, 如 Motorola 公司的 MC96002 等。此外, 还有多处理器数字信号处理器等。

从理论上讲, 虽然浮点 DSP 的动态范围比定点 DSP 大, 且更适合于 DSP 的应用场合, 但定点运算的 DSP 的成本较低, 对存储器的要求也较低, 而且耗电较省。定点运算的可编程 DSP 仍是市场上的主流产品, 预计今后的比重将逐渐增大。据统计, 目前销售的 DSP 中的 80% 以上属于 16 位定点可编程 DSP。只有在高保真音频以及需要实时运算、更高精确度与较大动态范围的其他数据采集应用的时候, 才能体现出浮点 DSP 更高的算术灵活性与精确度。

3. DSP 芯片的未来

传统上, DSP 一般是单字长、有条件的单周期指令, 为了在有限的价格、功耗以及存储器容量下实现尽可能快的运算, 指令系统已基本上发挥到了极限。这样也同时造成 DSP 的结构不可能有高效率的编译器, 使得开发 DSP 算法基本都采用汇编指令, 而费解的指令系统使得开发成为一件既痛苦又耗时的工作。从 20 世纪 90 年代开始, 以 TI 为代表的公司开始推动 DSP 向不同的方向发展。也许正是因为这些发展, 使得越来越多的应用同 DSP 功能、

性能的发展相结合,促进了DSP的繁荣。

其中涌现的一些需求所要求的处理速度已经远远超越了传统的DSP的处理速度,也就是这些需求成为当今DSP应用的主流,如手机、通信设备。一些新的算法也随即产生,如:Viterbi译码、数据流控制等,这些算法也推动了DSP开发软件的进步。不断涌现的需求渴望DSP的结构、性能、速度、开发都有进一步的提高,它们推动了DSP向多样化、多功能、高性能、方便使用的方向发展。

单片系统:SoC(片上系统)是近几年发展起来的新技术。一些SoC式的MCU开始出现,但在许多场合,MCU不能胜任,DSP的SoC也开始出现了。如TI公司的TMS320LF28x是集DSP的运算、PWM等模拟部件以及CAN等通信部件于一身,是SoC的典型代表,适用于电机控制、大规模存储等领域。不仅如此,在数码相机、VOIP(基于IP的语音传送)、手机等领域,TI公司也有SoC的方案,如DCS、OMAP、DM系列等。DSP的应用分类开始越来越清晰,同样的内核、不同的配置,可以应用于不同的方面,使得外围更简洁、体积更小、价格更便宜。

片上功能单元:对于不断出现的新算法的要求,传统的DSP的结构在处理这些算法时有些力不从心,DSP要高效地处理这些算法,就必须改变DSP的结构。结构的改变有两种途径,一种是改变中央处理单元。首先,增加DSP的位数,32位DSP或者准32位(计算单元是32位)DSP逐渐成为主流。为了增加并行处理的能力,多MAC(乘加单元)的DSP也出现了,DSP的处理能力有成倍的提高。另一种方式是增加专门的处理单元,提高DSP处理特定算法的速度。TI公司在C64x的DSP中增加了许多的协处理单元,如:VCP(Viterbi处理)、TCP(解码处理)等。这种方式使DSP处理特定算法的效率有很大的提高。

高性能DSP:3G(第三代移动通信)等技术的发展对DSP的要求不断提高,要求DSP有处理多通道、多数据流和高性能的能力,DSP同样迎合这一需要。比如TI公司的C64x采用了VLIW(超长指令字)结构,突破了“传统”DSP的结构,有8个处理单元,用简洁的指令,8个单元并行处理,可以很方便地完成处理多通道和多数据流的任务,同时可以大大加快DSP的处理速度,使其具备高性能的能力。另外,也有将多个DSP的内核封装在一起的做法,如TI公司的C5441等。这种方式用并行处理的方法,提高DSP的处理能力,降低成本,提高集成度。DSP的时钟周期也随着半导体的发展而有较大的提高,C64x的主频已经可以达到1GHz,使得DSP的处理能力达到了8000MIPS,性能进一步提高。

与传统CPU的融合:尽管DSP的处理能力高,但在一般应用中,DSP不一定是首选,ARM(一种通用的32位RISC处理器)或者传统的CPU也可以是嵌入系统的合适选择。这是因为“传统”的DSP不支持主流的操作系统,开发困难。而为解决这一问题,TI公司的OMAP系列是一个很好的选择。它集成了ARM和DSP的优势,包括一个ARM9微控制器和一个C55x的DSP内核,这样GPP用操作系统完成图形用户界面(GUI)、网络协议以及人机接口等任务,DSP用于处理数据,完成信号处理的要求。这种类型的DSP已被广泛应用于手机、个人数字助理(PDA)、数码相机等产品中。

提高传输能力:DSP的处理能力越来越强,同时也要求数据的吞吐能力相应提高,还有数据的传输方式多样化,如通用串行总线架构(USB)、周边元件扩展接口(PCI)、异步传输模式(ATM)以及其他的并行或串行通信的方式,解决多片处理中高昂的通信成本问题。近几年并行通信所采用的许多新结构,有的DSP内嵌PCI的总线;有的具有同ATM接口的

能力 UTOPIA; 有许多的 DSP 都具有主机端口接口 (HPI); 甚至具有直接驱动液晶显示屏 (LCD) 的能力。这些都节约了接口的开销, 降低了成本, 减小了体积。此外, 串行的接口方式也有大的改观, 有的 DSP 具有 USB 的接口; 有的具有缓冲串行端口 (URAT) 或者 SPI、SCI 的通信能力; 有许多 DSP 具有分时多通道通信接口 (McBSP); 为了方便和模拟信号接口, 有的 DSP 还具有同图像多媒体数字信号编触码器 (CODEC) 接口电路, 也具有同语言的接口电路 McASP; 有的 DSP 还具有 TCP/IP 的接口能力, 具有以太网媒体接入控制器 (EMAC) 功能。同时, 为了方便地搬移数据, 许多 DSP 内嵌了多通道的 DMA, 可以方便、快速地搬移数据, 加快同外部的数据交换。

开发平台的发展: 传统的 DSP 的开发一般都采用汇编语言, 调试的手段也很不方便, 这阻碍了 DSP 技术的应用。TI 公司率先将软件工程的方式引入 DSP 的开发, 推出 eXpress DSP 技术, 制定了 DSP 的开发标准, 并且在 DSP 内使用高效的实时操作系统 (RTOS) 核 DSP 基本输入输出系统 (BIOS)。同时, TI 公司的集成开发平台 CCS 具有方便、高效的优点, 支持 C/C++ 语言的开发, 并提供标准的芯片支持库 (CSL), 用户可以方便、迅速地开发 DSP 的算法, 使得用汇编开发 DSP 成为历史, 大大加快了 DSP 的开发进程。同时, eXpress DSP 技术也推动了软件开发的开展, 许多第三方软件提供商开发了许多标准的 DSP 算法, 如: G72x、MPEG4、FAX/Modem 等, 使得 DSP 的开发速度大大提高, 新的 DSP 的应用层出不穷。

1.4 数字信号处理的应用

自从 20 世纪 70 年代末 80 年代初 DSP 芯片诞生以来, DSP 芯片得到了飞速的发展。DSP 芯片的高速发展, 一方面得益于集成电路技术的发展, 另一方面也得益于巨大的市场。在近 20 年时间里, DSP 芯片已经在信号处理、通信、雷达等许多领域得到广泛的应用。目前, DSP 芯片的价格越来越低, 性能价格比日益提高, 具有巨大的应用潜力。在现代社会中, DSP 可以说无所不在, 从工业控制到日常消费、从航空航天到生物医学, DSP 已经得到广泛应用和日益普及。以下是一些 DSP 的应用实例:

- 1) 机器人技术、模式识别和机器视觉;
- 2) 医疗诊断装置、医疗成像系统;
- 3) 移动电话、PDA、调制解调器、数字传真机、ADSL;
- 4) 导弹制导、飞行器导航、航天器电子装置;
- 5) 视频会议、语音邮件、网络多媒体;
- 6) 磁盘/光盘控制器;
- 7) 雷达处理和声纳处理;
- 8) 数字电视、DVD 家庭影院、数码相机;
- 9) 工业控制、仪器仪表;
- 10) 神经网络和模糊控制;
- 11) 汽车发动机控制等。

随着科学技术的发展, DSP 的应用也将越来越广泛。

第 2 章 设计开发一个 DSP 系统

2.1 如何获取技术参考资料以及得到相关源码

在设计开发一个 DSP 系统时,当系统中的 DSP 芯片确定以后,很重要的就是要获得该 DSP 芯片的相关的技术参考资料及得到其相关源码。一般提供相应芯片的厂商都会有专门的网站进行技术支持,如美国的 TI 公司、Motorola 公司等。在 TI 公司网站的搜索中用关键字搜索资料,主要的技术文档包括 Application Notes、user guides,这些资料一般均有 PDF 文档说明和相应的源程序包提供,下载(down load)后做少许改动即可。

对于新手而言,进行 DSP 开发学习之时,常常感觉技术文档太多,每一个文档都有用,每一个文档都想看,无从下手。此时的原则是只看入门必需的、和芯片相关的文档。根据经验,如下的资料必看不可:

- 1) 讲述 DSP 的 CPU、Memory、Programme Memory Addressing、Data Memory Addressing 的资料;
- 2) 需要用到外设资源的资料;
- 3) C 语言和汇编语言的编程指南;
- 4) 汇编指令和 C 语言的运行支持库、DSP LIB 等资料。

其他的如: Applications Guide、Optimizing CC++ Compiler User's Guide、Assembly Language Tools User's Guide 等资料留待入门之后再去看,体会会更深一些。

同时我们也可以登陆一些相应的 DSP 技术论坛、技术网站来获取这些资料。以下是常用的获取技术参考资料的网站:

http://www.ti.com	TI 公司网站
http://www.analog.com	ADI 公司网站
http://www.freescale.com	Motorola 公司网站
http://www.dspsolution.com	有很多介绍 DSP 入门资料
http://www.dspguide.com	DSP 相关资料
http://www.dspvalley.com	DSP 设计资料
http://www.elecdesign.com	电子设计杂志
http://www.eetchina.com	电子工程师杂志
http://www.eedesign.com	电子设计杂志

2.2 DSP 选型

1. 主要 DSP 厂商的产品概况

被认为是世界 DSP 霸主的美国 TI 公司,在 1982 年推出第一个 TMS32010DSP 芯片至今,已陆续推出定点和浮点运算的 TMS320 系列 DSP 处理器。而美国 Analog Device 公司也不示弱,

研制了具有自己特点的 DSP 芯片，现已生产定点和浮点运算的 ADSP 系列的 DSP 芯片。另外 Motorola、NEC、Philips、Cirrus Logic、STMicroelectronics 等厂商也在生产各种 DSP 芯片。

表 2-1 主要的 DSP 厂商的产品概况

公司名称	产品型号	技术特征
Texas Instruments	OMAP 5910	集成有针对多媒体应用的 DSP 和 RISC 芯核；提供具有灵活用户接口的单元系统功能
	TMS320C2000	组成有供嵌入式控制业用的性能和外设；代码兼用 DSP 旨在嵌入式控制设备用
	TMS320C5000	C5000 DSP 平台提供多于 30 个代码兼容装置；C5501 和 C5502 为 300MHz 双乘—加单元 DSP，功耗小于 200mW，成本低于 10 美元
	TMS320C6000 TMS320DM642 TMS320DR1200	性能能从 1200MIPS 升级到 4800MIPS；TMS320DM642 的功耗不到 1.5W
	TMS320DM310	该处理器功耗小于 500mW；该处理器提供实时 MPEG-4 视频编/解码
	TMS320DSCX	时钟速度为 100MHz；功耗小于 1W
Analog Device	ADSP-21x	处理器都内含容量高达 2.4 MB 的片上 SRAM，集成有一个可编程 DMA 控制器，可处理 24 位指令和 16 位数据
	ADSP-21xxx SHARC	采用超级哈佛体系结构，并具有 SIMD（单指令多数据）功能和 SISD（单指令单数据）功能；2 个计算功能块
	ADSP-215xx BLACKFIN	双 MAC 单元、300 MHz 时钟频率和用于平衡系统性能和功耗的动态电源管理功能；支持 8/16/32 位整数型数据和 16/32 位分数型数据
	ADSP-2199x	应用于嵌入式信号处理和控制设备
	ADSP-TS101 TIGERSHARC	应用于多处理设备和第 3 代无线通信基础设施；2 个计算功能块，2 个整数 ALU
Motorola	DSP56800 和 DSP56800E	采用微控制器/DSP 混合结构；实现高层次外设集成
NEC	SPXK5	在 250MHz 频率下具有 1000MIPS/500MMAC；增强型媒体指令加速视频编码译码
Philips	SAF7730	完全集成的音频和射频处理包括 ADC 和 DAC；集成有两个独立的射频信道
Cirrus Logic	CS494xx	具有一个专用多标准译码器、关键的外设以及在一个片上 X、Y 和程序存储器，适用于数字娱乐产品
STMicroelectronics	ST100	ST122 能在 600MHz 下实现每秒 1.2MMAC；接口支持可定制化的协处理器

表 2-1 列出了主要的 DSP 厂商的产品概况。市场上较多的是 TI 公司的 TMS320 系列, 定点运算的为 TMS320C10 ~ TMS320C53, 单指令周期为 200 ~ 35ns; 浮点运算的为 TMS320C30 ~ TMS320C82, 单周期指令为 50 ~ 35ns; AD 公司的 ADSP 系列, 定点运算的为 ADSP2101 ~ ADSP2181, 单周期指令为 80 ~ 30ns; 浮点运算的为 ADSP21020 ~ ADSP21062, 单周期指令为 50 ~ 25ns, 都有不同的产品。从实际使用中, TI 公司和 AD 公司的产品比较适合自行研制产品的需要, 电路可根据需要设计, 外围电路芯片可根据需要选择, 且芯片在市场上较多, 但编程相对复杂, 电路设计搭配也较为复杂。而其他公司的产品相对专用性较强, 大多是为其产品配套设计, 价格较高, 外围电路芯片专用性较强, DSP 芯片及配套芯片市场上较少, 但其电路设计及程序设计较简单、效果也较好, 设计产品的周期较短。另外, 大多数公司产品的 C 语言辅助开发软件, 在实际使用中, 用 C 语言编的开发程序都对芯片的运行速度有较大的影响, 使处理速度不能正常发挥芯片的速度。

2. DSP 选型

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其外围电路及系统的其他电路。不同的 DSP 应用系统由于应用场合、应用目的等不尽相同, 对于 DSP 芯片的选择也是不同的。总的来说, DSP 芯片的选择应根据实际的应用系统的需要而确定。所以一般来说, 选择 DSP 芯片时应该考虑以下的主要因素。

(1) DSP 芯片的运算速度 运算速度是 DSP 芯片的一个最重要的性能指标, 也是选择 DSP 芯片时所需要考虑的一个主要因素。DSP 芯片的运算速度可以用以下几种性能指标来衡量:

1) 指令周期: 就是执行一条指令所需要的时间, 通常用 ns 为单位。

2) MAC 时间: 进行一次乘法加一次加法的时间。大部分 DSP 芯片可在一个指令周期内完成一次乘法和加法操作。

3) FFT 执行时间: 即运行一个 N 点 FFT 程序所需的时间。由于 FFT 运算涉及的运算在数字信号处理中很有代表性, 因此 FFT 运算时间常作为衡量 DSP 芯片运算能力的一个指标。

4) MIPS: 每秒执行百万条指令。

5) MOPS: 每秒执行百万次浮点操作。

6) BOPS: 每秒执行十亿次操作。

(2) DSP 芯片的价格 DSP 芯片的价格也是选择 DSP 芯片所需要考虑的一个重要的因素。如果采用价格昂贵的 DSP 芯片, 即使性能再高, 其应用范围肯定会受到一定的限制。因此, 需根据实际系统的应用情况, 确定一个价格适中的 DSP 芯片。当然, 由于 DSP 芯片发展迅速, DSP 芯片的价格往往下降较快, 因此在开发阶段选用某种价格稍贵的 DSP 芯片, 等到系统开发完毕, 其价格可能已经下降一半甚至更多了。

(3) DSP 芯片的硬件资源 不同的 DSP 芯片所提供的硬件资源是不相同的, 如片内 RAM、ROM 的数量, 外部可扩展的程序和数据空间, 总线接口、I/O 接口等。即使是同一系列的 DSP 芯片, 如 TI 公司的 TMS320C5x 系列, 不同的 DSP 芯片也可以适应不同的需要。

(4) DSP 芯片的运算精度 一般定点 DSP 芯片的字长为 16 位, 如 TMS320 系列。但有的公司的定点芯片为 24 位, 如 Motorola 公司的 MC56001 等。浮点芯片的字长一般为 32 位, 累加器为 40 位。

(5) DSP 芯片的开发工具 在 DSP 系统的开发过程中, 开发工具是必不可少的。如果没

有开发工具的支持，要想开发 DSP 系统几乎是不可能的。如果有功能强大的开发工具的支持，如 C 语言的支持，则开发的时间就会大大缩短。所以，在选择 DSP 芯片的同时，必须注意其开发工具的支持情况，包括软件和硬件的开发工具。

(6) DSP 芯片的功耗 在某些 DSP 应用场合，功耗也是一个需要特别注意的问题。如便携式的 DSP 设备、手持设备、野外应用的 DSP 设备等对功耗有特殊的要求。

(7) 其他 除了上述的因素外，选择 DSP 芯片还应考虑到封装的形式、质量标准、供货情况、生命周期等。有的 DSP 芯片可能有 DIP (Dual In-line Package, 双排直列式结构)、PGA (Pin Grid Array Package, 针脚栅格阵列封装)、PLCC (Plastic Leaded Chip Carrier, SMT 专用的包装方式)、PQFP (Plastic Quad Flat Pack, 塑料四方扁平封装) 等多种封装形式。有些 DSP 系统可能最终要求的是工业级或军用级的标准，在选择时就需要特别注意所选的芯片是否有工业级或军用级的同类产品。如果所设计的 DSP 系统不仅仅是一个实验系统，而是需要批量生产并可能有几年甚至十几年的生命周期，那么需要考虑所选的 DSP 芯片供货情况如何，是否也有同样甚至更长的生命周期，等等。

在上述诸多因素中，一般来说，定点 DSP 芯片的价格较为便宜、功耗较低，但运算精度稍低。而浮点 DSP 芯片的优点是运算精度高、C 语言编程调试方便，但价格昂贵、功耗较大。

3.DSP 应用系统运算量的确定

DSP 应用系统的运算量是确定选用处理能力多大的 DSP 芯片的基础。运算量小，则可以选择处理能力不是很强的 DSP 芯片，从而可以降低系统成本。相反，运算量大的 DSP 系统，则必须选用处理能力强的 DSP 芯片，如果 DSP 芯片的处理能力达不到系统要求，则必须用多个 DSP 芯片并行处理。那么如何确定 DSP 系统的运算量以选择 DSP 芯片呢？下面来考虑两种情况。

(1) 按样点处理 所谓按样点处理就是 DSP 算法对每一个输入样点循环一次。数字滤波就是这种情况。在数字滤波器中，通常需要对每一个输入样点计算一次。例如，一个采用最小均方 (LMS) 算法的 256 抽头的自适应有限冲击响应 (FIR) 滤波器，假定每个抽头的计算需要 3 个 MAC 周期，则 256 抽头计算需要 $256 \times 3 = 768$ 个 MAC 周期。如果采样频率为 8kHz，即样点之间的间隔为 $125\mu s$ ，DSP 芯片的 MAC 周期为 200ns，则 768 个 MAC 周期需要 $153.6\mu s$ 的时间，显然无法实时处理，需要选用速度更高的 DSP 芯片。表 2-2 示出了两种信号带宽对 3 种 DSP 芯片的处理要求，3 种芯片的 MAC 周期分别为 200ns、50ns 和 25ns。从表中可以看出，话音应用中，后两种 DSP 芯片可以实时实现；声频应用中，只有 3 种 DSP 芯片能够实时处理。当然，在这个例子中没有考虑其他的运算量。

表 2-2 用 DSP 芯片实现数字滤波

应用 领域	采样频率 /kHz	采样周期 / μs	256 抽头 LMS 滤波 运算量 (MAC 数)	每样点允许 MAC 指令数 (200ns)	每样点允许 MAC 指令数 (50ns)	每样点允许 MAC 指令数 (25ns)
话音	8	125	768	625	2500	5000
声频	44.1	22.7	768	113	433	907

(2) 按帧处理 有些数字信号处理的算法不是每个输入样点循环一次，而是每隔一定的时间间隔（通常称为帧）循环一次。例如，低速语音编码算法通常以 20ms 为一帧，每个