

<http://www.phei.com.cn>



嵌入式系统与单片机系列丛书

TMS320C 5000系列 DSP

系统设计与开发实例

汪春梅 孙洪波 任治刚 编著
朱铭皓 审校



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

“十五”国家重点图书出版规划项目

嵌入式系统与单片机系列丛书

TMS320C5000 系列 DSP 系统设计与开发实例

汪春梅 孙洪波 任治刚 编著

朱铭皓 审校

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书全面介绍 TMS320C5000 DSP 系统设计与开发。内容以 TMS320C55x DSP 为重点, 首先介绍数字信号处理器的硬件结构、汇编指令、存储结构和寻址方式; 结合片内集成外设的结构和功能, 给出片内集成外设驱动程序开发方法及部分片内外设的调试方法; 本书还介绍了 DSP 的集成开发环境 CCS 和 DSP/BIOS 的原理和使用; 如何在 DSP 上实现嵌入式实时操作系统; 最后结合 DSP 软、硬件的设计, 给出了详细的设计方法和丰富的应用实例。本书旨在从应用的角度使读者掌握 DSP 的基本原理、系统设计和软硬件开发。

本书内容丰富、新颖、实用性强, 适合从事数字信号处理的科技人员和高校师生阅读。

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。

图书在版编目 (CIP) 数据

TMS320C5000 系列 DSP 系统设计与开发实例/汪春梅等编著. —北京: 电子工业出版社, 2004.7

(嵌入式系统与单片机系列丛书)

ISBN 7-5053-9960-8

I. T… II. 汪… III. ①数字信号—信号处理—系统设计 ②数字信号—微处理器 IV. ①TN911.72 ②TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 049026 号

责任编辑: 邓小瑜 (dxy@phei.com.cn)

印 刷: 北京金特印刷有限责任公司印刷

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 19.25 字数: 493 千字

印 次: 2004 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 5 000 册 定价: 28.00 元

凡购买电子工业出版社的图书, 如有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系。
联系电话: (010) 68279077。质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

嵌入式系统与单片机系列丛书编委会

主任委员：沈绪榜

副主任委员：周利华 李凤华 朱铭镭

委员：（按姓氏笔画为序）

王军宁	王 泉	车向泉	冯小平	刘书明
刘笃仁	刘 峥	李龙海	李伯成	宋万杰
苏 涛	汪春梅	沈红卫	陈国先	吴自力
罗 丰	周佳社	郭万有	殷廷瑞	游林儒

前 言

自 20 世纪 80 年代初 DSP 芯片出现以来, DSP 技术已取得了突飞猛进的发展, DSP 芯片在性能提高的同时, 价格却不断下降。随着 DSP 芯片性价比的不断提高, DSP 的应用领域也不断扩展, 从军用、航天等高端产品到各种民用产品随处可见 DSP 的身影。DSP 生产厂商在改进芯片功能的同时, 也十分注意开发方法的改进, 现在进行 DSP 的开发可借助各种集成开发工具和第三方提供的各种算法。DSP 技术集成了数字信号处理技术和现代微电子技术的成果, 作为新技术革命的重要基础在各个领域得到了广泛应用。无论是在计算机外设、通信、工业控制、航空航天、精密仪器, 还是在家用电器中, DSP 无处不在。在国外, DSP 芯片已经得到了广泛的应用; 在我国, DSP 技术也正以极快的速度被应用到科技和国民经济的各个领域。因此, DSP 技术已经成为科技人员必须掌握的一门重要的实用技术。

现在主要 DSP 厂家包括得州仪器 (TI) 公司、美国模拟器件 (AD) 公司和摩托罗拉 (Motorola) 公司等。其中 TI 公司的 DSP 产品种类最多, 应用最广。因此, 了解和使用 TI 公司的 DSP 芯片进行系统设计和开发的方法是很重要的。

DSP 是一个复杂的系统, 本书以 TMS320C5000 系列为例, 详细介绍 DSP 设计开发的整个过程, 内容涵盖 DSP 软、硬件的各个开发环节。本书第 1 章介绍 DSP 技术的发展概况和应用领域; 第 2 章在数字信号处理和 DSP 系统的基础上, 重点阐述 TMS320C55x 处理器的硬件结构、汇编指令、存储结构、寻址方式; 第 3 章着重介绍 TMS320C55x 系列片内集成外设的结构、功能, 以及驱动程序的开发, 并给出部分片内外设的测试过程; 第 4 和第 5 章涉及 DSP 的集成开发环境 CCS 和 DSP/BIOS 的原理和使用; 第 6 章则以 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 嵌入式实时操作系统为例, 介绍实时操作系统的基本概念、运行原理和向 DSP 移植嵌入式操作系统的方法; 第 7、8 章详细介绍 DSP 软、硬件的设计方法, 并列举应用实例。针对 TMS320C5000 DSP 系统设计与开发, 在书中介绍大量实用 DSP 系统, 能够满足 DSP 的应用和设计人员之需, 书中所列出的大量的典型应用实例, 可在实际开发中直接引用。

本书由汪春梅策划, 分为 8 章, 其中第 1、4、5 章由任治刚编写, 第 6、7、8 章由孙洪波编写, 第 2 章由汪春梅编写, 第 3 章由孙洪波和汪春梅共同编写, 全书由汪春梅、孙洪波统稿, 朱铭锴审校。在编写过程中, 张崇明和孙晨玉做了大量工作。朱铭锴参与选题并提供了部分资料。电子工业出版社给予了极大的鼓励和支持。作者在此一并致谢。

希望此书对读者有所裨益, 也希望有助于 DSP 技术的推广。限于作者的水平, 书中的错误在所难免, 恳请读者不吝赐教!

作 者
2004 年 2 月于上海

目 录

第 1 章 数字信号处理和 DSP 系统	(1)
1.1 DSP 系统的特点	(1)
1.2 DSP 应用系统设计流程	(4)
1.3 DSP 芯片的选择	(4)
1.3.1 运算速度	(5)
1.3.2 算法格式和数据宽度	(5)
1.3.3 存储器	(6)
1.3.4 功耗	(6)
1.3.5 开发工具	(6)
1.4 DSP 系统的应用	(7)
第 2 章 TMS320C5000 系列 DSP 技术概论	(8)
2.1 TMS320C55x DSP 的硬件结构	(8)
2.1.1 C55x 体系结构	(8)
2.1.2 指令缓冲单元 (I)	(9)
2.1.3 程序流程单元 (P)	(10)
2.1.4 地址流程单元 (A)	(11)
2.1.5 数据计算单元 (D)	(11)
2.2 TMS320C55x 存储空间结构	(12)
2.2.1 存储映射	(12)
2.2.2 程序空间	(13)
2.2.3 数据空间	(14)
2.2.4 I/O 空间	(16)
2.3 寻址方式	(16)
2.3.1 绝对寻址模式	(16)
2.3.2 直接寻址模式	(18)
2.3.3 间接寻址模式	(20)
2.4 TMS320C55x 的指令系统	(23)
2.4.1 算术运算指令	(25)
2.4.2 位操作指令	(47)
2.4.3 扩展辅助寄存器操作指令	(51)
2.4.4 逻辑运算指令	(52)
2.4.5 移动指令	(55)
2.4.6 程序控制指令	(63)
第 3 章 C55x 处理器外围设备	(67)
3.1 C55x 外围设备综述	(67)

3.2	模数转换器 (ADC)	(67)
3.2.1	模数转换器结构和时序	(67)
3.2.2	模数转换器的寄存器	(69)
3.2.3	使用方法及实例	(71)
3.3	时钟发生器	(72)
3.3.1	时钟模式寄存器	(72)
3.3.2	工作模式	(73)
3.3.3	CLKOUT 输出	(73)
3.3.4	使用方法	(73)
3.3.5	使用方法及实例	(74)
3.3.6	时钟发生器的调试	(74)
3.4	DMA 控制器	(74)
3.4.1	概述	(74)
3.4.2	通道和端口	(75)
3.4.3	HPI 的配置	(75)
3.4.4	DMA 传输配置	(76)
3.4.5	DMA 控制器的寄存器	(77)
3.4.6	使用方法及实例	(80)
3.5	外部存储器接口	(82)
3.5.1	功能与作用	(82)
3.5.2	外部寄存器接口硬件连接与配置	(83)
3.5.3	外部寄存器接口的软件设置	(91)
3.6	主机接口 (EHPI)	(93)
3.6.1	EHPI 接口的非复用连接方式	(94)
3.6.2	EHPI 接口的复用连接方式	(94)
3.6.3	EHPI 接口的寄存器	(95)
3.7	I ² C 总线	(96)
3.7.1	I ² C 总线简介	(96)
3.7.2	I ² C 寄存器	(98)
3.7.3	I ² C 模块的使用	(99)
3.8	通用输入输出 GPIO	(100)
3.8.1	GPIO 概述	(100)
3.8.2	驱动程序开发	(100)
3.8.3	通用输入输出 GPIO 的测试	(101)
3.9	多通道缓冲串口 McBSP	(101)
3.9.1	概述	(101)
3.9.2	组成框图	(102)
3.9.3	采样率发生器	(102)
3.9.4	多通道选择	(104)
3.9.5	异常处理	(104)

3.9.6	McBSP 寄存器	(105)
3.9.7	多通道缓冲串口的应用	(110)
3.9.8	McBSP 串口的测试	(112)
3.10	多媒体卡控制器	(114)
3.10.1	多媒体卡控制器简介	(114)
3.10.2	MMC/SD 模式	(115)
3.10.3	SPI 模式	(119)
3.10.4	MMC 控制器的应用	(120)
3.11	实时时钟 (RTC)	(121)
3.11.1	实时时钟基本结构	(121)
3.11.2	实时时钟的内部寄存器	(122)
3.11.3	实时时钟的应用	(125)
3.12	通用定时器	(126)
3.12.1	结构框图	(126)
3.12.2	工作原理	(127)
3.12.3	使用方法	(128)
3.12.4	通用定时器的应用	(129)
3.12.5	通用定时器的调试	(130)
3.13	看门狗定时器 (Watchdog)	(130)
3.13.1	工作方式	(130)
3.13.2	寄存器说明	(131)
3.13.3	看门狗定时器的应用	(133)
3.14	通用串行总线 (USB)	(133)
3.14.1	通用串行总线 (USB) 简介	(133)
3.14.2	USB 的 DMA 控制器	(134)
3.14.3	USB 模块的寄存器	(137)
3.14.4	USB 模块的应用	(141)
第 4 章	CCS 的安装、设置及应用	(143)
4.1	引言	(143)
4.2	CCS 安装与设置	(146)
4.2.1	CCS 安装	(146)
4.2.2	CCS 设置	(146)
4.2.3	CCS 使用中常见问题的解决方法	(150)
4.3	应用程序的开发	(152)
4.3.1	项目管理器	(152)
4.3.2	代码编辑器	(153)
4.4	常用程序调试工具	(155)
4.4.1	断点	(155)
4.4.2	探针和文件输入/输出	(156)
4.4.3	图形显示	(159)

4.4.4	观测窗和符号浏览器	(164)
4.4.5	GEL 工具	(166)
第 5 章	DSP/BIOS 原理及应用	(170)
5.1	DSP/BIOS 实时库与 API 函数	(170)
5.2	DSP/BIOS 命名规则	(172)
5.2.1	DSP/BIOS 模块头文件名	(172)
5.2.2	DSP/BIOS 对象名	(172)
5.2.3	DSP/BIOS API 操作名	(172)
5.2.4	DSP/BIOS API 数据类型名	(172)
5.2.5	DSP/BIOS 存储器段名	(173)
5.3	DSP/BIOS 配置	(174)
5.4	DSP/BIOS 应用程序分析	(181)
第 6 章	在 TMS320C55x 系统中实现嵌入式操作系统	(192)
6.1	嵌入式操作系统概述	(192)
6.1.1	任务	(192)
6.1.2	操作系统内核	(193)
6.1.3	任务管理	(193)
6.1.4	时间管理	(194)
6.1.5	操作系统中的信号量	(195)
6.1.6	消息管理	(195)
6.1.7	内存管理	(196)
6.2	μ C/OS-II 嵌入式操作系统的移植	(196)
6.2.1	系统移植条件	(196)
6.2.2	μ C/OS-II 头文件	(198)
6.2.3	OS_CPU.H	(198)
6.3.4	OS_CPU_C.C	(200)
6.3.5	OS_CPU_A.ASM	(201)
6.3.6	小结	(209)
第 7 章	C55x 处理器的软件设计	(210)
7.1	用 C 语言开发 C55x 处理器	(210)
7.1.1	存储器的设置	(211)
7.1.2	C 语言中的数据类型	(212)
7.1.3	对 I/O 空间进行寻址	(213)
7.1.4	interrupt 关键字	(214)
7.1.5	C/C++ 中段的分配	(215)
7.2	C 语言与汇编语言的混合编程	(216)
7.2.1	在 C 语言中直接嵌套汇编语句	(216)
7.2.2	C 语言和汇编模块接口	(216)
第 8 章	C5000 DSP 应用实例	(223)
8.1	概述	(223)

8.2 DSP 系统的上电程序加载	(223)
8.2.1 并行外部存储器 (EMIF) 加载	(224)
8.2.2 标准串口加载	(225)
8.2.3 串行外设接口 (SPI) 加载	(227)
8.2.4 EHPI 接口加载程序	(227)
8.3 串行多路 A/D 设计	(230)
8.4 高速并行 A/D 设计	(235)
8.5 C55x 在信道编码中的应用	(237)
8.6 C55x 处理器在数字信号处理中的应用	(250)
8.6.1 有限冲击响应滤波器的实现	(251)
8.6.2 无限冲击响应滤波器的实现	(254)
8.6.3 快速傅里叶变换 (FFT)	(259)
附录 A 寄存器	(264)
附录 B VC5510 中断	(273)
附录 C TMS320C55x 的状态寄存器	(275)
附录 D TMS320C55x 汇编指令集	(278)
附录 E VC5509 系统部分原理图	(291)

第 1 章 数字信号处理和 DSP 系统

数字信号处理 (Digital Signal Processing) 是信息通信等工程技术领域一门关键的基础性技术学科。数字信号处理器 DSP (Digital Signal Processor) 是一种专门为实时、快速实现各种数字信号处理算法而设计的、具有特殊结构的微处理器。

自 20 世纪 60 年代以来,随着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 20 世纪 80 年代以前,由于方法的限制,数字信号处理技术还处于理论研究阶段,没有得到广泛的应用。在此阶段,人们利用通用计算机进行数字滤波、频谱分析等算法的研究和数字信号处理系统的模拟和仿真。20 世纪 80 年代初,世界上第一片可编程 DSP 芯片的诞生为数字信号处理理论的实际应用开辟了道路;而低成本数字信号处理器的不断推出,更加促进了这一进程。

20 世纪 90 年代以后, DSP 芯片的发展突飞猛进。其功能日益强大,性能价格比不断上升,开发手段不断改进。 DSP 芯片已成为集成电路中发展最快的电子产品。 DSP 芯片迅速成为众多电子产品的核心器件,而 DSP 系统也被广泛地应用于当今技术革命的各个领域——通信电子、信号处理、自动控制、雷达、军事、航空航天、医疗、家用电器、电力电子,而且新的应用领域在不断地被发掘、拓展。可以说,基于 DSP 技术的开发应用正在成为数字时代应用技术领域的潮流。

1.1 DSP 系统的特点

和其他数字系统一样, DSP 系统具有许多模拟系统不具备的优点,如灵活,可编程,支持时分复用,易于模块化设计,可重复使用,可靠性高,抗环境干扰能力强,易于维护等。典型 DSP 系统基本部件包括抗混叠滤波器 (Anti-aliasing Filter)、模数转换器 ADC (Analog-to-Digital Converter)、数字信号处理器 DSP、数模转换器 DAC (Digital-to-Analog Converter) 和抗镜像滤波器 (Anti-image Filter),如图 1-1 所示。其中,抗混叠滤波器将输入的模拟信号中高于 Nyquist 频率的频率成分滤掉; ADC 将模拟信号转换成 DSP 可以处理的并行或串行的数字比特流; DSP 完成数字信号处理算法;经过处理的数字信号经 DAC 转换为模拟样值之后,再由抗镜像滤波器完成模拟波形的重建。



图 1-1 典型 DSP 系统框图

与通用微处理器 GPP (General-purpose Processors) 相比, DSP 有许多适应实时数字信号处理的特点。

1. 存储器结构

众所周知，微处理器的存储器结构分为两大类：冯·诺依曼结构和哈佛结构。由于成本的原因，GPP 广泛使用冯·诺依曼存储器结构。典型冯·诺依曼结构的特点是只有一个存储器空间、一套地址总线和一套数据总线；指令、数据都存放在这个存储器空间中，统一分配地址，所以处理器必须分时访问程序和数据空间。通常，做一次乘法会发生 4 次存储器访问，用掉至少 4 个指令周期。

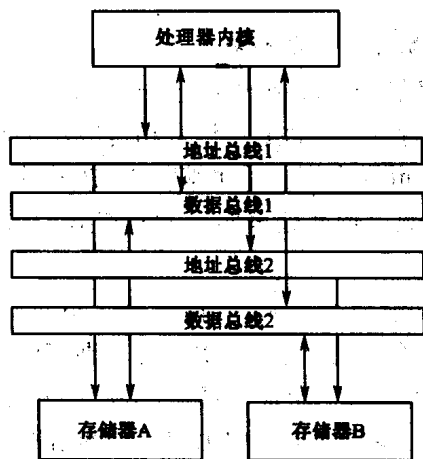


图 1-2 双总线存储器结构

为了提高指令执行速度，DSP 采用程序存储器空间和数据存储器空间分开的哈佛结构和多套地址、数据总线，其结构如图 1-2 所示。哈佛结构是并行体系结构，程序和数据存于不同的存储器空间，每个存储器空间独立编址，独立访问。因此，DSP 可以同时取指令（来自程序存储器）和取操作数（来自数据存储器）；而且，还允许在程序空间和数据空间之间相互传送数据。哈佛读写结构使得 DSP 很容易实现单周期乘法运算。

今天，高性能 GPP 采用片内高速缓存（Cache）技术以加快其处理速度。在 DSP 中也引入这一技术，TMS320VC5510 就为 CPU 提供了指令缓存。采用这一技术的原因是指令可能存储在内部存储器或外部

存储器中，而当其存储在外存储器时，CPU 可以用高速缓存保存最近执行的指令，从而提高整个系统的处理效率。

2. 流水线

流水线结构将指令的执行分解为取指令、译码、取操作数和执行等几个阶段。在程序运行过程中，不同指令的不同阶段在时间上是重叠的，流水线结构提高了指令执行的整体速度，有助于保证数字信号处理的实时性。因此，所有 DSP 均采用一定级数的流水线，如 TMS320C54xx DSP 采用 6 级流水线，而 TMS320C6xxx DSP 采用 8 级流水线。TMS320C55xx DSP 的流水线则被分为指令流水线和执行流水线两部分，指令流水线完成访问地址产生、等待存储器回应、取指令包、预解码等工作；执行流水线完成译码、读取/修改寄存器、读操作数和输出结果等工作。

3. 硬件乘法累加单元

由于 DSP 任务包含大量的乘法-累加操作，所以 DSP 处理器使用专门的硬件来实现单周期乘法，并使用累加器寄存器来处理多个乘积的累加；而且几乎所有 DSP 指令集都包含有 MAC 指令。而 GPP 通常使用微程序实现乘法。

4. 零开销循环

DSP 算法的特点之一是主要的处理时间用在程序的循环结构中，因此多数 DSP 都有专门支持循环结构的硬件。所谓“零开销”（Zero Overhead），是指循环计数、条件转移等循环机制

由专门硬件控制，而处理器不用花费任何时间。通常 GPP 的循环控制是用软件来实现的。

5. 特殊的寻址方式

除了立即数寻址、直接寻址、间接寻址等常见寻址方式之外，DSP 支持一些特殊的寻址方式。例如，为了降低卷积、自相关算法和 FFT 算法的地址计算开销，多数 DSP 支持循环寻址和位倒序寻址。而 GPP 一般不支持这些寻址方式。

6. 高效的特殊指令

DSP 指令集设计了一些特殊的 DSP 指令用于专门的数字信号处理操作。这些指令充分利用了 DSP 的结构特点，提高了指令执行的并行度，从而大大加快了完成这些操作的速度。例如，TMS320C55xx 中的 FIRSADD 指令和 LMS 指令，分别用于对称结构 FIR 滤波算法和 LMS 算法。

7. 丰富的片内外设

根据应用领域的不同，DSP 芯片内集成了众多类型的硬件设备。如：定时器、串行口、并行口、主机接口（HPI）、DMA 控制器、等待状态产生器、PLL 时钟产生器、JTEG 标准测试接口、ROM、RAM 及 Flash 等，如图 1-3 所示。这些片内外设提高了处理速度和数据吞吐能力，简化了接口设计，同时降低了系统功耗并节约了电路板空间。

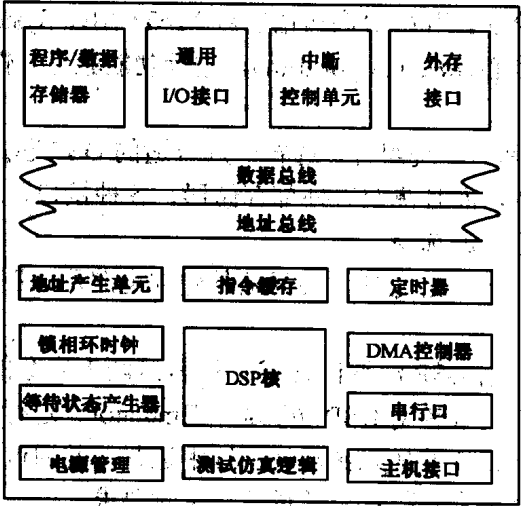


图 1-3 DSP 片内外设实例

除了上述软、硬件区别之外，从程序开发的角度上，DSP 和 GPP 也有重要区别。例如：GPP 一般使用 C 或 C++ 等高级语言；但因为大多数高级语言并不适合于描述典型 DSP 算法，所以 DSP 应用程序一般要用汇编语言或 C 语言与汇编语言嵌套的方式编写。即使采用 C 源代码编译为汇编代码的方法，许多核心代码最后还要用汇编语言进行手工优化。此外，大多数 DSP 厂商都提供一些开发仿真工具，以帮助程序员完成其开发仿真工作。DSP 仿真工具能够精确到指令周期，这对于确保实时性和代码优化非常重要。而 GPP 厂商通常并不需要提供这样的工具。

1.2 DSP 应用系统设计流程

DSP 系统的一般设计开发流程如图 1-4 所示。

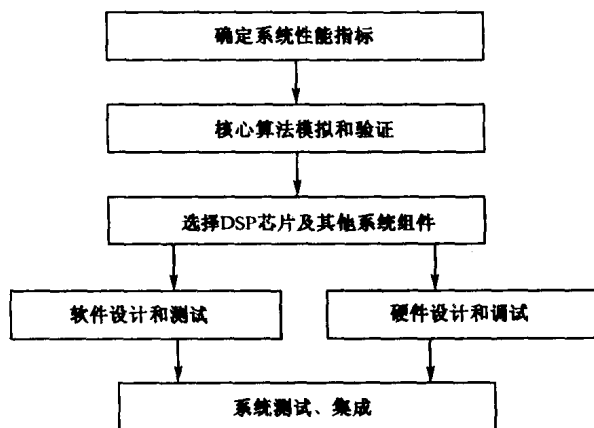


图 1-4 DSP 系统设计开发流程

(1) 确定系统性能指标。根据应用目标对系统进行任务划分，进行采样率、信号通道数、程序大小的确定。

(2) 核心算法模拟和验证。用 C 等高级语言或 MATLAB、SystemView 等开发工具模拟待选的或者拟定的信号处理核心算法 (Algorithm)，进行功能验证、性能评价和优化，以确定最佳的信号处理方法。

(3) 选择 DSP 芯片及其他系统组件。选择一片合适的 DSP 芯片是至关重要的，因为这不仅关系到系统的性能和成本，而且决定着外部存储器、各种接口、ADC、DAC、电平转换器、电源管理芯片等其他系统组件的选择。

(4) 硬件设计和调试。根据选定的主要元器件建立电路原理图、设计制作 PCB、器件安装及加电调试。

(5) 软件设计和测试。用 DSP 汇编语言或 C 语言或两者嵌套的方法生成可执行程序。用 DSP 软件模拟器 (Simulator) 或者用 DSP 仿真器 (Emulator) 进行程序调试。

(6) 系统测试、集成。将软件加载到硬件系统中运行，并通过用 DSP 仿真器 (Emulator) 等测试手段检查其运行是否正常、稳定，是否符合实时要求。

1.3 DSP 芯片的选择

按应用领域的要求，DSP 器件可以分为两类。一类是大量的低成本嵌入式应用系统，如手机、磁盘驱动器、MP3 播放器等，在这些应用中，成本、集成度和功耗是最重要的因素。另一类是需要用复杂算法对大量数据进行处理的应用，如声呐探测和地震探测等，该类设备批量小、算法复杂、对性能要求苛刻，而对成本和功耗并不是特别关注。因此，在选择 DSP 处理器时，要根据目标系统不同要求，综合考虑性能、成本、集成度、开发的难易程度及功耗等因素。一般来说，选择 DSP 芯片时应考虑到如下因素。

1.3.1 运算速度

DSP 芯片是否符合应用要求, 运算速度是很关键的。常见的运算速度指标有如下几种:

- 指令周期: 执行一条指令所需的最短时间, 数值等于主频的倒数; 指令周期通常以 ns (纳秒) 为单位。例如, 运行在 200MHz 的 TMS320VC5510 的指令周期为 5ns。
- MIPS: 每秒百万条指令数。
- MOPS: 每秒百万次操作数。
- MFLOPS: 每秒百万次浮点操作数。
- BOPS: 每秒十亿次操作数。
- MAC 时间: 一次乘法累加操作花费的时间。大部分 DSP 芯片可在一个指令周期内完成 MAC 操作。
- FFT 执行时间: 完成 N 点 FFT 所需的时间。FFT 运算是数字信号处理中的典型算法而且应用很广, 因此该指标常用于衡量 DSP 芯片的运算能力。

上述指标都有很大的局限性。比如, 指令周期和 MIPS 指标并不能公正地区别不同 DSP 速度性能上的差异, 因为不同的 DSP 在单个指令周期内完成的任务量是不一样的。例如, 采用超长指令字 (VLIW) 架构的 DSP 可以在单个周期时间内完成多条指令。虽然 MAC 时间采用一个基本操作的执行时间作为标准来比较 DSP 的速度性能, 但是 MAC 时间显然不能提供足够的信息。而且大多数 DSP 在单个指令周期内即可完成 MAC, 所以其 MAC 时间和指令周期是一样的。至于 MOPS、BOPS 和 MFLOPS 指标, 会因为厂商对“操作”内涵诠释的不同而很难体现客观公允的评价要求。而 FFT 执行时间虽然相对于其他指标要好一些, 但要 DSP 在具体实时应用中对表现出的处理速度做出准确估计仍然是很困难的。

目前, 比较可靠的办法是利用某些典型的数字信号处理标准例程。这些例程可能是 FIR 或 IIR 滤波等“核心”算法, 也可能是语音编解码等整个或部分应用程序。BDTI 公司提供了利用各种 DSP 执行这些标准例程的运行时间的测试结果。

1.3.2 算法格式和数据宽度

DSP 算法格式主要分为定点算法和浮点算法两种。一般而言, 定点 DSP 芯片价格较便宜, 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, 且 C 语言编程调试方便, 开发周期短, 但价格稍贵, 功耗也较大。

大多数 DSP 处理器使用定点算法, 有些 DSP 处理器采用浮点算法。浮点算法比较复杂, 因而浮点 DSP 的成本和功耗要比定点 DSP 的高。但是使用浮点 DSP 更容易进行高级语言编程, 而且一般不用特别解决动态范围、精度的问题。所以, 如果产品对成本和功耗的要求较严格, 一般选用定点 DSP。设计人员需要通过理论分析或软件仿真来确定所需要的动态范围和精度。如果要求易于开发、动态范围宽、精度高, 可以考虑采用浮点 DSP。此外, 有些算法在定点 DSP 中采用“块浮点”方法, 也可以实现较宽动态范围和较高的处理精度。所谓“块浮点”就是将具有相同指数, 而尾数不同的一组数据作为一个数据块进行处理。“块浮点”处理通常用软件来实现。

浮点 DSP 的数据宽度一般为 32 位, 而定点 DSP 的数据宽度可以为 16 位、20 位、24 位或 32 位。显然, 对于相同算法格式的 DSP, 数据宽度越大, 精度越高。但是, 数据宽度与 DSP 尺寸、管脚数及存储器等有直接关系。数据宽度越大, DSP 尺寸越大, 管脚越多, 存储

器要求也越高。所以，在满足设计要求的前提下，尽量选用数据宽度小的 DSP 以降低开发成本。而对少量精度要求高的代码可以采取双精度算法。如果大多数计算对精度要求都很高，那么就需要选用较大数据宽度的处理器。

1.3.3 存储器

DSP 芯片内都集成一定数量的存储器，并且可以通过外部数据总线进行存储器扩展。选择 DSP 时，要根据具体应用对存储空间大小及对外部总线的要求来选择。例如，定点 DSP 的芯片上存储器一般为 4~64KB，而且外部数据总线比较窄（一般为 16 位），因此主要面向嵌入式应用系统开发。此外，有的 DSP 芯片内集成了多存取存储器，允许在一个指令周期内对存储器进行多次访问；也有的 DSP 芯片内集成了指令缓存，允许从缓存读取指令，从而将存储器空闲出来进行数据读取。这些特点也是选择 DSP 时可以参考的依据。

1.3.4 功耗

由于 DSP 器件越来越多地应用在便携式产品中，因此功耗是一个重要的考虑因素。下面是一些常见的降低系统功耗的技术：

- 低工作电压。目前 DSP 的工作电压有 5V，3.3V，2.5V，1.8V 等多种。
- “休眠”或“空闲”模式。大多数处理器具有关断处理器部分时钟的功能以降低功耗。
- 可编程时钟分频器。有的 DSP 可以在运行时动态编程改变处理器时钟频率以降低功耗。
- 外围控制。一些 DSP 器件具有允许程序中止系统暂时不使用的外围电路功能。

显然，根据 DSP 器件提供的降低功耗技术，选择最适应目标系统的处理器意味着未来产品的竞争优势。

1.3.5 开发工具

选择 DSP 芯片时，必须注意其开发工具的支持情况（包括软件开发工具、硬件开发工具）。软件开发工具包括编译器、汇编器、链接器、调试器、代码模拟器、代码库及实时操作系统（Real Time Operation System, RTOS）等，而硬件工具包括评估板和仿真器等。利用这些工具的设计过程如图 1-5 所示。

此外，对于数据计算量很大的应用，需要考虑多处理器是否支持互连，以及互连性能（通信流量、开销和时间延迟）如何。选择 DSP 芯片还应考虑到封装的形式、环境温度、质量标准、供货情况、生命周期等。

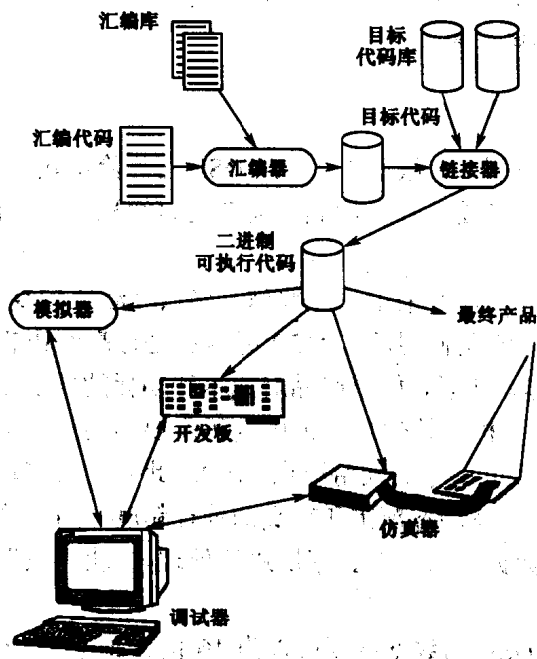


图 1-5 DSP 系统设计开发工具的设计过程

1.4 DSP 系统的应用

DSP 系统的应用领域极其广泛；目前其主要的的应用包括：

- 基本信号处理：数字滤波器、自适应滤波、FFT、相关运算、谱分析、卷积运算、模式匹配、窗函数、波形产生和变换等。
- 通信：调制解调、自适应均衡、数据加密、数据压缩、回波抵消、多路复用、传真、扩频通信及纠错编码等。
- 语音：语音编码、语音合成、语音识别、语音增强、说话人的辨认和确认、语音邮件及语音储存等。
- 图形图像：二维和三维的图形处理、图像的压缩与传输和增强、机器人视觉等。
- 军事：保密通信、雷达信号处理、声呐信号处理、导航及导弹制导等。
- 仪器仪表：频谱分析、函数发生、锁相环及地震信号处理等。
- 控制：引擎控制、声控、自动驾驶、机器人控制及磁盘控制等。
- 医疗：助听、超声设备、诊断工具及病人监护等。
- 家用电器：高保真音响、智能玩具与游戏、数字电话及数字电视等。

DSP 最大应用领域是通信。以无线通信领域中的数字蜂窝电话为例，DSP 使得移动通信设备更加个人化、智能化，并实现无线漫游。数字蜂窝电话中的 DSP 协调模拟基带芯片、电源处理芯片、数字基带处理芯片、RF 射频处理芯片合理而快速地工作，并兼有开发和测试的功能。

军事领域是高性能 DSP 的天地。例如，雷达图像处理中使用 DSP 进行目标识别和实时飞行轨迹估计，要求浮点 DSP 每秒执行十亿个浮点运算，定点 DSP 运算能力达 1600MIPS。

嵌入了 DSP 的家用电器是人人都是可以接触到的。例如，在 HDTV 中，由 DSP 实现关键的 MPEG2 译码电路；又如，使用 DSP 技术的家庭音响可以产生比模拟音响更自然、更清晰且更丰富的音响效果。再如，配置了 DSP 处理器的洗衣机、冰箱不仅可以提高系统的功能、效率和可靠性，减少系统能耗和电磁干扰，而且更加容易操作和控制。

DSP 的应用领域也在不断地扩大。例如，DSP 是运行计算机图像学 CG (Computer Graphics) 软件和提供虚拟现实 VR (Virtual Reality) 系统三维图形处理能力的最关键器件。DSP 使得 CG、VR 传统分析方法得到了质的飞跃。可以预见，随着 DSP 芯片性价比的不断提高和新的实用 DSP 算法的不断出现，DSP 系统的应用在深度和广度上会有更大的发展。