



普通高等教育规划教材

DSP技术及应用

陈金鹰 主编

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育规划教材

DSP 技术及应用

陈金鹰 主编

陈金鹰 陈爱萍 韩喜春 游敏惠 编



机械工业出版社

DSP 芯片是数字信号处理器的简称,是一种具有特殊结构的微处理器,自 20 世纪 70 年代末第一个 DSP 芯片诞生以来,已经得到了飞速的发展,最高速度已经达到 9000MIPS,寻址能力达到 32bit。目前,DSP 技术已广泛应用于通信、图像处理、信号处理、语音、军事、仪器仪表、自动控制、医疗、家用电器、汽车等领域。本书以 TMS320C54x 芯片为例,重点介绍了 DSP 芯片的硬件结构、汇编语言编程、DSP 软件的开发方法与过程及 CCS 环境。本书还介绍了如何用 DSP 汇编语言进行常见数字信号的处理方法、常用算法的基本实现方法和技巧。

本书内容适合于通信工程、电子类、仪表类及相关专业的本科生和研究生学习,也可供其它相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

DSP 技术及应用/陈金鹰主编 —北京:机械工业出版社, 2004.6

普通高等教育规划教材

ISBN 7-111-14335-3

I. D... II. 陈... III. 数字信号 - 信号处理 - 高等学校 - 教材 IV. TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 032152 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:王保家 版式设计:冉晓华 责任校对:陈延翔

封面设计:张静 责任印制:施红

北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

787mm × 1092mm $1/16$ · 18.75 印张 · 462 千字

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)68993821、88379646

封面防伪标均为盗版

普通高等教育应用型人才培养规划教材 编审委员会

主任：刘国荣 湖南工程学院

副主任：左健民 南京工程学院

陈力华 上海工程技术大学

鲍 泓 北京联合大学

王文斌 机械工业出版社

委员：（按姓氏笔画排序）

刘向东 华北航天工业学院

任淑淳 上海应用技术学院

何一鸣 常州工学院

陈文哲 福建工程学院

陈 峻 扬州大学

苏 群 黑龙江工程学院

娄炳林 湖南工程学院

梁景凯 哈尔滨工业大学(威海)

童幸生 江汉大学

电子与通信类专业分委员会

主任：鲍 泓 北京联合大学

副主任：张立臣 常州工学院

李国洪 华北航天工业学院

委员：(按姓氏笔画排序)

邓 琛 上海工程技术大学

叶树江 黑龙江工程学院

李金平 北京联合大学

沈其聪 总参通信指挥学院

杨学敏 成都理工大学

秘书长：何希才 北京联合大学

序

工程科学技术在推动人类文明的进步中一直起着发动机的作用。随着知识经济时代的到来,科学技术突飞猛进,国际竞争日趋激烈。特别是随着经济全球化发展和我国加入 WTO,世界制造业将逐步向我国转移。有人认为,我国将成为世界的“制造中心”。有鉴于此,工程教育的发展也因此面临着新的机遇和挑战。

迄今为止,我国高等工程教育已为经济战线培养了数百万专门人才,为经济的发展作出了巨大的贡献。但据 IMD1998 年的调查,我国“人才市场上是否有充足的合格工程师”指标排名世界第 36 位,与我国科技人员总数排名世界第一形成很大的反差。这说明符合企业需要的工程技术人员特别是工程应用型技术人才市场供给不足。在此形势下,国家教育部近年来批准组建了一批以培养工程应用型本科人才为主的高等院校,并于 2001、2002 年两次举办了“应用型本科人才培养模式研讨会”,对工程应用型本科教育的办学思想和发展定位作了初步探讨。本系列教材就是在这种形势下组织编写的,以适应经济、社会发展对工程教育的新要求,满足高素质、强能力的工程应用型本科人才培养的需要。

航天工程的先驱、美国加州理工学院的冯·卡门教授有句名言:“科学家研究已有的世界,工程师创造未有的世界。”科学在于探索客观世界中存在的客观规律,所以科学强调分析,强调结论的惟一性。工程是人们综合应用科学(包括自然科学、技术科学和社会科学)理论和技术手段去改造客观世界的实践活动,所以它强调综合,强调方案优缺点的比较并作出论证和判断。这就是科学与工程的主要不同之处。这也就要求我们对工程应用型人才的培养和对科学研究型人才的培养应实施不同的培养方案,采用不同的培养模式,采用具有不同特点的教材。然而,我国目前的工程教育没有注意到这一点,而是:①过分侧重工程科学(分析)方面,轻视了工程实际训练方面,重理论,轻实践,没有足够的工程实践训练,工程教育的“学术化”倾向形成了“课题训练”的偏软现象,导致学生动手能力差。②人才培养模式、规格比较单一,课程结构不合理,知识面过窄,导致知识结构单一,所学知识中有一些内容已陈旧,交叉学科、信息科学的内容知之甚少,人文社会科学知识薄弱,学生创新能力不强。③教材单一,注重工程的科学分析,轻视工程实践能力的培养;注重理论知识的传授,轻视学生个性特别是创新精神的培养;注重教材的系统性和完整性,造成课程方面的相互重复、脱节等现象;缺乏工程应用背景,存在内容陈旧的现象。④老师缺乏工程实践经验,自身缺乏“工程训练”。⑤工程教育在实践中与经济、产业的联系不密切。要使我国工程教育适应经济、社会的发展,培养更多优秀的工程技术人员,我们必须努力改革。

组织编写本套系列教材,目的在于改革传统的高等工程教育教材,建设一套富有特色、有利于应用型人才培养的本科教材,满足工程应用型人才培养的要求。

本套系列教材的建设原则是:

1. 保证基础,确保后劲

科技的发展,要求工程技术人员必须具备终生学习的能力。为此,从内容安排上,保证学生有较厚实的基础,满足本科教学的基本要求,使学生日后具有较强的发展后劲。

2. 突出特色, 强化应用

围绕培养目标, 以工程应用为背景, 通过理论与工程实际相结合, 构建工程应用型本科教育系列教材特色。本套系列教材的内容、结构遵循如下9字方针: 知识新、结构新、重用。教材内容的要求概括为: “精”、“新”、“广”、“用”。“精”指在融会贯通教学内容的基础上, 挑选出最基本的内容、方法及典型应用; “新”指将本学科前沿的新进展和有关的技术进步新成果、新应用等纳入教学内容, 以适应科学技术发展的需要。妥善处理好传统内容的继承与现代内容的引进。用现代的思想、观点和方法重新认识基础内容和引入现代科技的新内容, 并将这些内容按新的教学系统重新组织; “广”指在保持本学科基本体系下, 处理好与相邻以及交叉学科的关系; “用”指注重理论与实际融会贯通, 特别是要注入工程意识, 包括经济、质量、环境等诸多因素对工程的影响。

3. 抓住重点, 合理配套

工程应用型本科教育系列教材的重点是专业课(专业基础课、专业课)教材的建设, 并做好与理论课教材建设同步的实践教材的建设, 力争做好与之配套的电子教材的建设。

4. 精选编者, 确保质量

遴选一批既具有丰富的工程实践经验, 又具有丰富的教学实践经验的教师担任编写任务, 以确保教材质量。

我们相信, 本套系列教材的出版, 对我国工程应用型人才培养质量的提高, 必将产生积极作用, 会为我国经济建设和社会发展作出一定的贡献。

机械工业出版社颇具魄力和眼光, 高瞻远瞩, 及时提出并组织编写这套系列教材, 他们为编好这套系列教材做了认真细致的工作, 并为该套系列教材的出版提供了许多有利的条件, 在此深表衷心感谢!

编委会主任 刘国荣教授
湖南工程学院院长

前 言

数字信号处理器(Digital Signal Processor——DSP),也叫 DSP 芯片,是一种具有特殊结构的微处理器,是 20 世纪科学及工程具体化最有影响力的技术之一。自 20 世纪 70 年代末 DSP 芯片诞生以来,在短短的 20 多年时间便得到了飞速的发展,已广泛应用于通信、医疗、影像、雷达及声纳、高保真音乐重现、石油勘探、工业控制、军事、航空航天等领域。在这些应用领域都已经发展出很深入的 DSP 技术、特有的算法、应用数学及特殊的技巧。一般而言,数字信号处理是把通过时间与数值采样的信号,做各种离散量化的数值处理与计算,因此诸如快速傅里叶变换、Z 变换、卷积运算、相关运算、最小平方法、有限脉冲响应等常用的数理分析方法,都可以利用数字信号处理实现,以提高整体的运算性能。

DSP 芯片可分为通用型和专用型两大类。通用型 DSP 芯片是一种软件可编程的 DSP 芯片,适用于各种 DSP 应用场合。专用型 DSP 芯片则将 DSP 芯片采用的算法集成到 DSP 芯片内部,一般适用于某些专用的场合。本书主要讨论通用型 DSP 芯片。

目前 DSP 芯片的主要供应商包括美国的德州仪器(TI)公司、AD 公司、AT&T 公司和 Motorola 公司等。世界上第一个单片 DSP 芯片是 1978 年 AMI 公司发布的 S2811,1979 年 Intel 公司发布的商用可编程器件 2920 是 DSP 芯片的一个主要里程碑,1980 年日本 NEC 公司推出的 μ PD7720 是第一个具有乘法器的商用 DSP 芯片。TI 公司的第一代 DSP 芯片 TMS32010 于 1982 年问世,第二代 TMS32020 于 1985 推出,1986 年推出 CMOS 版本的 TMS320C25,以后相继推出第三代 TMS320C3x 系列,第四代 TMS320C4x 系列,1991 年推出第五代 TMS320C5x 系列。而 TMS320C8x 系列则是包含四个定点处理器与一个精简指令集处理器的多 DSP 芯片,可以应用在视频会议与虚拟环境领域。1997 年推出第六代 TMS320C6x 系列。TMS320C6x 系列采用超长指令字(VLIW)设计芯片,TMS320C62 提供 200MHz 时钟、1600MIPS (MIPS 表示每秒百万条指令)的运算速度,主要用于高档视频及多媒体产品。TMS320F24x 系列称为 DSP 控制器,它整合了 DSP 核心、快速存储器的产品及数字马达控制的外围模块,适用于三相电动机、变频器之类的高速实时工控产品。TMS320C54x 系列则适用于无线通信领域。TMS320AV7000 是针对机顶盒需求设计的 DSP 芯片。TI 公司的 DSP 芯片占世界 DSP 芯片市场近 50%,在国内也被广泛地采用。

本书通过对 TMS320C54x 系列芯片的结构和专用汇编语言的介绍,使读者了解通信技术领域相关产品,对数字信号进行处理的方法。全书共分七章,第一章理论教学 2 学时,主要介绍 DSP 技术的发展及相关知识,从一般角度讨论 DSP 芯片技术的产生、应用和开发环境。要求读者对 DSP 的芯片技术有所了解,能根据科研项目的不同,合理选择适当的芯片,了解常用的开发工具及软件和硬件仿真工具。第二章理论教学 12 学时,主要介绍 DSP 芯片的硬件结构,包括 CPU 结构、总线结构、存储器分配、在片外围电路、串行口、外部总线和中断、与存储器及外围设备和低速器件的接口、自举加载等相关问题。要求读者对 DSP 芯片的硬件结构和组成有所了解,以便能正确使用和发挥 DSP 芯片的技术优势。第三章理论教学 4 学时,本章对 DSP 芯片的汇编语言进行了介绍,包括指令系统的寻址方式、地址的生

成、流水线操作、指令系统的概述。要求读者掌握 DSP 芯片汇编语言的寻址方式、流水线操作概念,对指令系统有初步了解。第四章理论教学 4 学时,该章主要介绍了 DSP 软件开发方法与过程,包括汇编语言程序的编写方法、汇编和连接过程、DSP 的 C 语言开发编译过程、C 语言和汇编语言的混合编程、汇编语言程序设计。本章要求读者对 DSP 芯片的开发过程有所了解,掌握汇编语言程序的编写、汇编和连接方法,了解用 C 语言实现 DSP 功能时的注意事项,能读懂简单的汇编语言程序。第五章理论教学 8 学时,该章主要介绍如何应用 DSP 汇编语言实现通信系统中常见信号的数字信号处理方法、常用算法的基本实现方法和技巧。主要内容包括:基本运算的实现、信号发生器、FIR 滤波器的实现、IIR 滤波器的实现、快速傅里叶变换(FFT)的实现、信号功率谱运算的实现方法。本章要求读者了解用 DSP 汇编语言进行通信系统中数字信号处理的特殊指令、延时方法和位倒序运算及其它技巧。第六章和第七章安排 12 学时的实验,其中第六章主要介绍 DSP 的集成开发环境(CCS),读者可以在这个环境下完成工程定义、程序编辑、编译连接、调试和数据分析等工作环节;第七章主要通过四个实验来进一步加深对开发过程相关环节的了解。

本书由陈金鹰老师任主编,并负责全书的统稿和整理。第一章由湖南工程学院的陈爱萍老师编写;第二、三、四、五章由成都理工大学的陈金鹰老师编写,第六章由黑龙江工程学院的韩喜春老师编写;第七章由重庆邮电学院的游敏惠老师编写。书中难免有错误之处,请读者多提意见,以便今后改正。

本书在编写过程中得到了成都理工大学信息工程学院院长王绪本教授的大力支持和帮助,并对书中内容提出了许多宝贵意见,特此深表感谢。同时也感谢编审委员会的专家和机械工业出版社的领导对本书提出的宝贵意见与大力支持。

编者

目 录

序

前言

第一章 DSP 技术概述	1	第四章 指令系统概述	106
第一节 DSP 系统概述	1	思考题	125
第二节 DSP 芯片技术的发展	5	第四章 DSP 软件开发过程	126
第三节 DSP 芯片的选择	7	第一节 汇编语言程序的编写方法	128
第四节 DSP 芯片的主要优点与应用 领域	12	第二节 汇编语言程序的汇编	134
第五节 DSP 应用系统的开发工具	15	第三节 COFF 的一般概念	138
思考题	17	第四节 目标文件的连接	142
第二章 DSP 芯片结构介绍	18	第五节 DSP 的 C 语言开发方法	153
第一节 TMS320C54x 芯片的基本性能	19	思考题	169
第二节 TMS320C54x 芯片的 CPU 结构	20	第五章 汇编语言编程举例	170
第三节 TMS320C54x 芯片的内部总线 结构	26	第一节 汇编语言基本指令的应用	170
第四节 TMS320C54x 芯片的存储器结构	27	第二节 DSP 的浮点运算方法	184
第五节 TMS320C54x 芯片的在片外围 电路	34	第三节 DSP 在信号发生器上的应用	189
第六节 TMS320C54x 芯片的串行口	43	第四节 用 DSP 实现 FIR 滤波器	199
第七节 TMS320C54x 芯片与外设的 接口	54	第五节 用 DSP 实现 IIR 滤波器	211
第八节 TMS320C54x 芯片的复位与 省电	63	第六节 用 DSP 实现 FFT	218
第九节 TMS320C54x 芯片的中断	67	思考题	229
第十节 TMS320C54x 芯片的自举加载	71	第六章 CCS 集成开发环境	231
第十一节 TMS320C54x 芯片的引脚	75	第一节 CCS 集成开发环境简介	231
思考题	82	第二节 调试应用程序	238
第三章 DSP 指令系统及特点	84	第三节 DSP/BIOS 的应用	253
第一节 TMS320C54x 的寻址方式	84	第四节 利用 DSP/BIOS 和 RTDX 进行实时 分析	258
第二节 程序地址的生成	92	思考题	266
第三节 流水线操作技术	98	第七章 DSP 实验	267
		实验一 基本算术运算	267
		实验二 用定时器实现数字振荡器	274
		实验三 FIR 数字滤波器	280
		实验四 快速傅里叶变换的实现	282
		参考文献	289

第一章 DSP 技术概述

数字信号处理(Digital Signal Processing——DSP)是一门涉及许多学科且广泛应用于许多领域的新兴学科。20 世纪 60 年代以来,随着微电子技术、信息技术和计算机技术的迅猛发展,数字信号处理技术应运而生,发展迅速,并且日趋完善和成熟。

数字信号处理是利用计算机或专用处理设备,以数字形式对信号进行采集、变换、滤波、估值、增强、压缩、识别等处理,从而得到人们所需的信号形式。数字信号处理以众多学科为理论基础,如数学领域中的微积分、复变函数、概率统计、随机过程、数值分析、高等代数、线性代数、泛函数等都是数字信号处理的数学工具,与网络理论、信号与系统、控制理论、通信理论、故障诊断等密切相关,同时是现代控制理论(包括人工智能、模式识别、神经网络、模糊控制)、现代通信理论、故障理论和现代测量等的理论基础,并与它们相互交叉、相辅相成、相互促进。

数字信号处理的实现方法有如下几种:

- 1) 在通用的微型计算机(PC 机)上用软件(如 C、Fortran 语言)实现。
- 2) 用单片机(如 MCS-51、96 系列等)实现,这种方法只能用于一些不太复杂的数字信号处理,如数字控制等。
- 3) 利用通用的可编程 DSP 芯片实现。与单片机相比,DSP 有着更适合于数字信号处理的软体和硬件资源,适用于复杂的数字信号处理算法。
- 4) 用专用的 DSP 芯片实现。在一些特殊场合,要求的信号处理速度极高,用通用的 DSP 芯片很难实现,并且国际上已经推出了不少专用芯片,如用于完成 FFT、FIR、卷积、相关等运算的专用芯片。这些芯片中,软件算法已在芯片内部用硬件实现,但缺点是灵活性差,开发工具不完善。
- 5) 在通用的计算机系统中加上加速卡实现。加速卡可以是通用的加速处理机,也可以是由 DSP 开发的用户加速卡。
- 6) 用 FPGA 等可编程阵列产品开发 ASIC 芯片实现数字信号处理算法。由于 FPGA 产品的发展,人们可以利用 Altera、Xilinx 等公司的产品及其相应软件或 VHDL 等开发语言,通过软件编程用硬件实现特定的数字信号处理算法,如 FFT、FIR 等。

比较上述各种方法,第一种方法的缺点是速度慢;第二种方法由于不适合于复杂的数字信号处理系统,应用场合受到限制;第三种方法非常适合于通用数字信号处理的开发,为数字信号处理的应用打开了新局面;第四种方法是数字信号处理实现的一个分支方向;第五种方法的核心是用 DSP 开发用户加速卡,如 AD 卡、DSP 扩展卡等;第六种方法专用性太强,而且这种方法的研发工作也主要不是由一般的用户来完成的。

第一节 DSP 系统概述

DSP 系统是不同于模拟电路和数字逻辑电路的电路系统,它所要处理的信号必需是数字

信号, 并且强调运算过程。对于强调控制的数字电路, 应采用可编程 ASIC 芯片, 包括 FPGA/CPLD。DSP 系统是基于数字信号处理理论所提供的各种算法, 用适于运算的 DSP 芯片完成系统所要求的各种运算, 以达到对数字信号进行数字信号处理的加工过程的目的。

一、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, 因此具有数字信号处理的全部优点:

(1) 精度高 模拟网络中元件(R、L、C等)精度很难达到 10^{-3} 以上, 所以由模拟网络组成的系统的精度要达到 10^{-3} 以上就非常困难。而数字系统17位字长就可以达到 10^{-3} 精度。因此, 如果使用DSP、D/A来代替系统中的模拟网络, 并有效地提高A/D和D/A的精度, 就可有效地提高系统的整体精度。在一些高精度的系统中, 有时甚至只有采用数字技术才能达到精度要求。

(2) 可靠性强 这是由数字电路的特点决定的。由于数字系统只有“0”和“1”两种电平, 抗干扰能力强, 可靠性高。此外, 由于DSP系统是采用大规模、超大规模集成电路, 也提高了系统可靠性。

(3) 集成度高 对体积要求很小(如计算机、笔记本电脑、航空航天等), 或是采用模拟网络时, 体积将大得令人无法接受的场合, 高集成度的数字电路不可缺少。在DSP系统中, 由于DSP、CPLD、FPGA等都是高集成度的产品, 加上采用表面贴装技术, 体积大幅度压缩。此外, 在系统开发完成之后, 还可将产品进一步开发成ASIC芯片, 压缩体积, 降低成本。

(4) 接口方便 随着科学技术的发展, 电子系统变得越来越复杂。系统设计中, 接口设计是关键。由于DSP系统与其它以现代数字技术为基础的系统或设备都是兼容的, 系统接口方便。

(5) 灵活性好 由于DSP芯片及其中的FPGA、CPLD(如果有嵌入的话)等都是可编程的, 只要改变它们的软件, 即可完成不同的功能。同时由于产品具有在线可编程能力, 使得硬件更简单, 正是由于这些优点使DSP系统大大缩短了产品的开发周期。

(6) 保密性好 保密性是高科技产品的一个重要要求。由于DSP系统中的DSP、FPGA、CPLD等器件在保密上的优越性能, 使它与模拟系统或简单的数字系统相比, 具有高度保密性能。如DSP的内部总线地址变化可以被隐蔽, 这时外部地址总线上的内容是不变的。如果做成ASIC, 则保密性能几乎无懈可击。

(7) 时分复用 可使用一套DSP系统分时处理几个通道的信号。主要适用于两种场合, 一是信号的采样频率与DSP系统的运算速度相比较低的场合; 二是实时性要求不高的场合。

综上所述, DSP系统无论是在性能上、成本上, 还是在经济效益上, 在很多场合与模拟系统比较, 都有明显的优势。随着DSP技术、计算机技术与微电子技术和先进工艺的不断采用, DSP技术将获得更广泛的应用。

二、DSP 系统的设计思路

图1-1是一个典型DSP系统。先将输入的模拟信号进行带限滤波和抽样, 再进行A/D(Analog to Digital)变换, 将信号变换成数字比特流, 经DSP芯片处理后的数字样值, 再经D/A(Digital to Analog)变换成模拟样值之后再内进行插和平滑滤波即可得到连续的模拟信号输出。

根据奈奎斯特抽样定理, 为保证信息不丢失, 抽样频率至少是输入带限信号最高频率的 2 倍, 其中抗混叠滤波的作用, 就是将输入的模拟信号中高于折叠频率(其值等于采样频率的一半)的分量滤除, 以防止信号频谱出现混叠。DSP 芯片是系统的关键。

上面给出的是典型的 DSP 系统, 实际的 DSP 系统并不一定包括图 1-1 中的所有部件。如语音识别系统的输出信号并不是连续波形, 而是识别结果, 如数字、文字等; 有些输入信号本身就是数字信号, 就不必进行 A/D 变换了。



图 1-1 一个典型 DSP 系统

1. 总体方案设计

图 1-2 是 DSP 应用系统设计的一般步骤。

在进行 DSP 系统设计之前, 首先要明确设计任务, 给出设计任务书。在设计任务书中应将系统要达到的功能描述准确、清楚; 描述的方式可以是人工语言, 也可以是流程图或算法描述。之后将设计任务书转化为量化的技术指标。结合 DSP 系统设计, 这些技术指标主要包括以下内容:

- 1) 由信号的频率决定的系统采样频率。
- 2) 由采样频率完成任务书最复杂的算法所需的最大时间及系统对实时程度的要求判断系统能否完成工作。
- 3) 由数量及程序的长短决定片内 RAM 的容量, 是否需要扩展片外 RAM 及片外 RAM 的容量。
- 4) 由系统所要求的精度决定是 16 位还是 32 位, 是定点还是浮点运算。
- 5) 根据系统是计算用还是控制用来决定对输入输出端口的要求。在一些特殊的控制场合, 还有一些专门的芯片可供选用。如电机控制领域应采用 TMS320C2xx 系列, 因为该系列芯片上集成了 2 路 A/D 输入, 6 路 PWM 输出及强大的人机接口。

由上述技术指标, 大致可以选定 DSP 芯片的型号。根据选用的 DSP 芯片及上述技术指标可以初步确定 A/D、D/A、RAM 的性能指标及可供选择的产品。在产品选型时, 还要考虑成本、供货能力、技术支持、开发系统、体积、功耗、工作环境温度等等。

在确定 DSP 芯片型号之后, 应当先进行系统的总体设计。首先采用高级语言 Matlab 等对算法进行仿真, 确定最佳算法并初步确定参数, 对系统的软硬件进行初步分工。

2. 软件设计阶段

完成了上述总体设计之后, 就可以进入软硬件设计阶段。

软件编程步骤如下:

- 1) 用 C 语言、汇编语言或者两种编程语言混合编写程序, 再把它们分别转换成 DSP 的汇编语言并送到汇编语言编译器进行汇编, 生成目标文件。

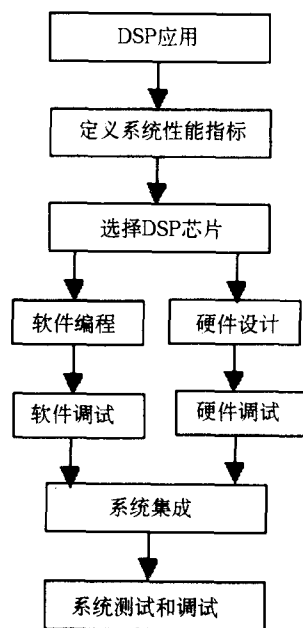


图 1-2 DSP 应用系统设计的设计流程

2) 将目标文件送入连接器进行连接, 得到可执行文件。

3) 将可执行文件调入到调试器(包括软件仿真、软件开发系统、评测模块、系统仿真器)进行调试, 检查运行结果是否正确。如果正确, 进入下一步; 如果不正确, 则返回第一步。

4) 进行代码转换, 将代码写入 EEPROM, 并脱离仿真器运行程序, 检查结果是否正确。如果不正确, 返回上一步; 如果正确, 进入下一步。

5) 软件调试, 软件调试借助 DSP 开发工具, 如软件模拟器、DSP 开发系统或仿真器等。调试 DSP 算法时一般采用比较实时结果与模拟结果的方法, 如果实时程序和模拟程序的输入相同, 则两者的输出应一致。应用系统的其它软件可根据实际情况进行调试。如果调试结果合格, 软件调试完毕; 如果不合格, 返回第一步。

3. 硬件设计阶段

(1) 设计硬件实现方案 硬件实现方案是指根据性能指标、工期、成本等, 确定最优硬件实现方案, 并画出硬件系统框图。

(2) 器件的选型 除选择 DSP 芯片外, 一般还要考虑选择 A/D、D/A、内存、电源、逻辑控制、通信、人机接口、总线等基本部件。

下面简单介绍一下它们的选择原则。

DSP 芯片: 根据控制目的还是计算目的的不同, 选择不同厂商、不同系列、不同工作频率、不同工作电压、不同工作温度、以及是采用定点型芯片还是浮点型芯片。

A/D 变换: 根据采样频率、精度确定 A/D 型号, 以及是否要求片上自带采样保持器、多路器、基准电源等。

D/A 变换: 信号频率、精度是否要求基准电源、多路器、输出运放等。

内存: 内存包括 RAM、EPROM (或 EEPROM、Flash Memory), 在 TMS320C6000 等产品中还有 SDRAM、SBSRAM。主要考虑工作频率、内存容量位长(8 位/16 位/32 位)、接口方式(串行/并行)、工作电压(5V/3.3V 或其它)。

逻辑控制: 先确定所用器件, 如 PLD、EPLD 或 FPGA; 再根据自己的特长和公司芯片的特点决定采用哪家公司的哪一系列产品; 最后根据 DSP 芯片的频率决定芯片的工作频率来确定使用的芯片。

通信接口: 一般 DSP 系统都要求能与其它系统通信。根据通信的速率决定采用的通信方式, 采用串口只能达到 19.2Kbit/s (RS232), 并口可达到 1Mbit/s 以上, 如果速率更高, 则应采用总线通信。

总线选择: 有 PCI、ISA、现场总线(如 CAN 总线)、3Xbus 等。根据使用场合、数据传输速率的高低(总线宽度、频率高低、同步方式等)选择。

人机接口: 有键盘、显示器等, 可以通过与 80C196 等单片机的通信构成, 也可在 DSP 的基础上直接构成。

电源选取: 主要考虑电压的高低和电压的大小。电压高低要匹配, 电流容量要足够。

上述部件的选择可能会相互影响, 同时在选型时必须考虑供货能力、性能价格比、技术支持、使用经验等因素。

(3) 原理图设计 硬件设计阶段原理图设计是关键。在原理图设计时必须清楚了解器件的使用和系统的开发, 对于关键环节要做仿真。原理图设计成功与否, 是系统能否正常工作的重要因素。

(4) PCB 板设计 PCB 板设计要求 DSP 系统设计人员既要熟悉系统工作原理, 又要清楚布线工艺和系统结构设计。

(5) 软、硬件调试 在采用硬件仿真器进行调试时, 如果没有仿真器, 且系统不复杂, 则可借助一般的工具进行调试。

4. 系统集成

系统的软、硬件设计分别调试完成之后, 进行系统集成。系统集成是将软硬件结合起来, 并组合成样机, 在实际系统中运行, 进行系统测试。如果系统测试结果符合设计指标, 则样机设计完毕。但由于在软硬件调试阶段调试的环境是模拟的, 因此在系统测试时往往会出现一些问题, 如精度不够、稳定性不好等。出现问题时, 一般采用修改软件的方法进行修改, 如果软件修改无法解决问题, 则必须调整硬件, 这时问题就较为严重了。

第二节 DSP 芯片技术的发展

DSP 微处理器是 20 世纪 70 年代末发展起来的。1978 年, AMI 公司生产的 S2811 和 1979 年美国 Intel 公司宣布诞生的商用可编程器件 2920 是 DSP 芯片的一个主要里程碑, 这两种芯片内部都没有现代 DSP 芯片所必须有的单周期乘法器。1980 年, 日本 NEC 公司推出的 μ PD7720 是第一片具有乘法器的商用 DSP 芯片。1982 年, 美国 TI 公司推出了 TMS320 系列 DSP 芯片中的第一代 DSP TMS320010 及其系列产品 TMS320011、TMS320C10/C14/C15/C16/C17 等, 之后相继推出了第二代 DSP 芯片 TMS320020、TMS320C25/C26/C28, 第三代 DSP 芯片 TMS320C30/C31/C32/C33, 第四代 DSP 芯片 TMS320C40/C44, 第五代 DSP 芯片 TMS320C5x/C54x, 第二代 DSP 芯片的改进型 TMS320C2xx, 集多片 DSP 于一体的高性能 DSP 芯片 TMS320C8x 以及目前速度最快的第六代 DSP 芯片 TMS320C62x/C67x 等。TI 公司的系列 DSP 产品已经成为了当今世界最有影响的 DSP 芯片, 其 DSP 市场占有率占全世界份额的近 50%, TI 公司已成为世界上最大的 DSP 芯片供应商。

日本东芝公司 1982 年推出浮点 DSP 芯片。AT&T 公司 1984 年推出的 DSP32 是较早的具备较高性能的浮点 DSP 芯片。与其它公司相比, Motorola 公司推出 DSP 芯片相对较晚, 1986 年, 该公司推出了定点 DSP MC56001。1990 年, 推出了与 IEEE 浮点格式兼容的浮点 DSP 芯片 MC96002。美国模拟器件 (Analog Devices——AD) 公司在 DSP 芯片市场上也占有较大的份额, 它相继推出了一系列具有自己特点的 DSP 芯片, 其定点 DSP 芯片有 ADSP2101/2103/2105、ADSP2111/2115、ADSP2161/21623/2164、ADSP2171/2181 等, 浮点 DSP 芯片有 ADSP21000/21020、ADSP21060/21062 等。

由于 DSP 芯片独特的结构特点和高速实现各种数字信号处理复杂算法的优点, 自 1980 年以来, 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 (一次乘法和一次加法) 时间从原来的 400ns (如 TMS32010) 减少到达 10ns (如 TMS320C54x 等) 以下, 处理能力提高了几十倍, 甚至上百倍。DSP 芯片内部关键的乘法器部件从原来的占模片区的 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 $4\mu\text{m}$ 的 NMOS 工艺发展到现在采用亚微米 (Micron) CMOS 工艺。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, 意味着结构的灵活性增加, 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 应用系

统的成本、体积、重量和功耗都有很大程度的下降。表 1-1 是 TI 公司 DSP 芯片发展比较表。表 1-2 是世界主要 DSP 芯片供应商的部分芯片的一些数据。

表 1-1 TI 公司 DSP 芯片发展比较表

年 份	1982	1992	1999	2002
制造工艺	4 μ mNMOS	0.8 μ mCMOS	0.3 μ mCMOS	<0.18 μ mCMOS
处理速度	5MIPS ^①	40MIPS	100MIPS	160MIPS
频 率	20MHz	80MHz	100MHz	160MHz
内部 RAM	144 字	1K 字	32K 字	64K 字
内部 ROM	1.5K 字	4K 字	16K 字	32K 字
价 格	\$ 150.00	\$ 15.00	\$ 5.00 ~ \$ 25.00	\$ 5.00 ~ \$ 25.00
功 耗	250mW/MIPS	12.50mW/MIPS	0.45mW/MIPS	0.05mW/MIPS

① MIPS 表示每秒百万条指令

表 1-2 世界主要 DSP 芯片供应商的部分芯片的一些数据

公 司	DSP 芯片	推出时间(年份)	MAC 周期/ns	定点位数	浮点位数
AMI	S2811	1978	300	12/16	
NEC	μ PD7720	1980	250	16/32	32
	μ PD77230	1985	150		
TI	TMS32010	1982	390	16/32	32/40 40
	TMS32020	1987	200	16/32	
	TMS320C25	1989	100	16/32	
	TMS320C30	1989	60	24/32	
	TMS320C40	1990	40	32	
	TMS320C50	1992	35	16/32	
	TMS320C203	1996	12.5	16/32	
	TMS320C549	1992	10	16/32	
	TMS320C62x	1997	5	16/32	
	TMS320VC5510-200	2001	5	16/32	
Motorola	MC56001	1986	75	24	32/44
	MC96002	1990	50	32/64	
	MC56002	1991	50	24/48	
AT&T	DSP32C	1988	80	16/24	32/40
	DSP16A	1988	25	16/36	
	DSP3210	1992	60	24	
AD	ADSP2101	1990	60	16	32/40
	ADSP21020	1991	40	32	

20 多年来, DSP 芯片得到了迅猛发展, 随着其应用的不断扩展和深入, 今后 DSP 芯片将发展更快。主要体现在以下几方面:

1) 在生产工艺上, 采用 1 μ m 以下的 CMOS 制造工艺技术和砷化镓集成电路制造技术, 使集成度更高, 功耗更低, 从而使高频、高速的 DSP 得到更大的发展。

2) 研制高速、高性能 DSP 器件将以 RISC (精简指令系统计算机) 结构和 Transporter (单片并行计算机) 基本结构为主导, 以完成并行处理系统操作。脉冲阵列和数据流阵列也将成为并行处理器的主要体系结构。

3) 由于具备设计、测试简单, 易模块化, 易于实现流水线操作和多处理器结构, 专用单片机 DSP 芯片将有较大发展。

4) 模拟/数字混合式 DSP 芯片(集滤波、A/D、D/A 及 DSP 处理于一体)将有很大的发展, 应用领域将会进一步扩大。模拟/数字混合式 DSP 芯片将成为 DSP 发展的主要方向, 是 DSP 厂商的主要增长点。

5) 将 DSP 技术与 ASIC 技术融合, 在 DSP 芯片中嵌入 ASIC 模块, 进一步扩大 DSP 逻辑控制功能。

6) 将推出更新的、更强大的优化 C 编译器来适应不同型号的 DSP 代码生成, 各种 DSP 的开发、加速、并行处理插件板也将大量涌现。

第三节 DSP 芯片的选择

在设计 DSP 应用系统过程中, 选择 DSP 芯片是非常重要的一个环节。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它电路。DSP 芯片的选择应根据实际的应用系统需要而确定。不同的 DSP 应用系统由于应用场合、目的等不同, 对 DSP 芯片的选择也不同。首先确定选择哪家公司的产品, 除 TI 公司外, 还有其它公司的 DSP 产品可供选择。

一、主要的 DSP 芯片

1. TI 公司的 DSP 芯片

TI 公司常用的 DSP 芯片可以归纳为三大系列: TMS320C2000 系列(包括 TMS320C2xx/C24x/C28x 等)、TMS320C5000 系列(包括 TMS320C54x/C55x)、TMS320C6000 系列(包括 TMS320C62x/C67x/C64x)。

(1) TMS320C2000 系列 又称为 DSP 控制器, 它整合了 DSP 核心, 集成了 flash 存储器、高速 A/D 转换器以及可靠的 CAN 模块及数字马达控制的外围模块, 适用于三相电动机、变频器等高速实时工控产品等需要数字化的控制领域。

1) TMS320C24x 系列 该系列为定点 DSP 芯片, 该系列中的许多片种的速度要比 20MIPS (MIPS 表示每秒百万条指令)高, 可用于自适应控制、Kalman 滤波、状态控制等先进的控制算法。C24x 原代码与早先的 C2x 系列原代码兼容, 向上与 C5x 原代码兼容。其 CPU 包括: 一个 32 位的中心算术逻辑单元(CALU)、一个 32 位的累加器(ACC), CALU 具有输入和输出数据定标移位器、一个 16×16 位乘法器、一个输出定标移位器, 数据地址产生逻辑(包括 8 个辅助寄存器和 1 个辅助寄存器算术单元)、程序地址产生单元。有 6 组 16 位数据与程序总线, 即程序地址总线 PAB (Program Addr. Bus)、数据读地址总线 DRAB (Data-Read Addr. Bus)、数据写地址总线 DWAB (Data-Write Addr. Bus)、程序读总线 PRDB (Program Read Bus)、数据读总线 DRDB (Data Read Bus)、数据写总线 DWEB (Data Write Bus)。C2x 的片内存储器有双访问 RAM (DARAM)和 flash EEPROM 或工厂掩模的 ROM, 分为单独可选择的 4 个空间, 即程序存储器(64K 字)、局部数据存储器(32 K 字)、全局数据存储器(64K 字)、输入/输出(64K 字),