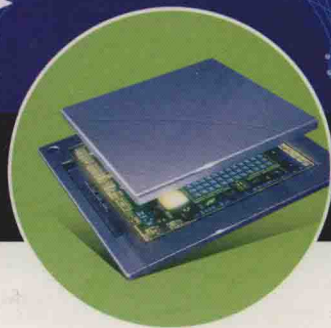




普通高等教育“十三五”规划教材
空天电子信息国家级实验教学示范中心系列教材

Electronic Information
Innovation

■ 电子信息类综合创新实践系列教材



DSP 原理及应用

——TMS320VC5509A 基础教程

◎ 张玉玺 王 俊 康 骊 编著

◎ 张有光 审校



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

电子信息类综合创新实践系列教材

DSP 原理及应用

——TMS320VC5509A 基础教程

张玉玺 王 俊 康 骊 编著

张有光 审校



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以 TI 公司的 DSP 芯片为例,系统地介绍了 DSP 的原理和应用方法。首先介绍了 DSP 的发展过程,引入 TI 公司的 C5000 系列 TMS320VC5509A 芯片,对其硬件设计方法进行了详细介绍;然后介绍了 TI 公司的 CCS 集成开发环境及其使用方法,并以 TMS320VC5509A 为例介绍了如何在 CCS 环境中进行 DSP 的软件开发调试方法;最后用一个完整的实例讲解如何进行 DSP 系统的开发调试。

本书语言浅显易懂,实例丰富,并在网站 <http://eclab.buaa.edu.cn/> 的“创新园地”栏目中给出了开源电路图与源程序。本书可作为高等院校电子信息工程类、通信工程类及计算机、自动控制类相关专业学生的教材,也可作为 DSP 芯片开发技术人员的初级培训教材。

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

DSP 原理及应用: TMS320VC5509A 基础教程/张玉玺, 王俊, 康骊编著. —北京: 电子工业出版社, 2017.9
ISBN 978-7-121-32595-3

I. ①D… II. ①张… ②王… ③康… III. ①数字信号处理—高等学校—教材 IV. ①TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 212777 号

策划编辑: 竺南直

责任编辑: 桑 昀

印 刷: 三河市良远印务有限公司

装 订: 三河市良远印务有限公司

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

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 13.5 字数: 346 千字

版 次: 2017 年 9 月第 1 版

印 次: 2017 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 35.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888, 88258888。

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。

本书咨询联系方式: davidzhu@phei.com.cn。

丛书序言

当前世界范围内新一轮科技革命和产业变革加速进行,综合国力竞争越加激烈。而高等教育发展水平是一个国家发展水平和发展潜力的重要标志。习近平总书记指出,“我们对高等教育的需要比以往任何时候都更加迫切,对科学知识和卓越人才的渴求比以往任何时候都更加强烈”。

世界高等工程教育面临新机遇、新挑战,我国高等工程教育改革发展已经站在新的历史起点。国家正在实施“创新驱动发展”“中国制造 2025”“互联网+”“网络强国”“一带一路”等重大战略,为响应国家战略需求,支撑服务以新技术、新业态、新产业、新模式为特点的新经济蓬勃发展。面对这一机遇与挑战,高等院校电子信息工程专业需要以“新工科”建设思想为指导,在教学理念与模式、知识结构、培养质量与体系等方面深化改革,注重学科交叉和产教融合深度实践,推进教材内容与结构的完善和更新,从而培养具有创新能力、工程实践能力和多元知识结构的新型工科人才。

我国大多数工科类高等院校都设置有电子信息专业,这是一个涉及数学、物理电学、电路分析、电工基础、电子技术、信号与系统、计算机控制原理、通信原理等多门课程的专业体系。其内容涵盖了社会的诸多层面,为国家发展提供了无可替代的强大助力。电子信息专业不仅要求学生具有扎实的理论与宽广的知识面,更要求学生具备一定的工程实践能力。作为一门应用型学科,其着眼于培养学生科技创新、应用创新的能力,使学生成为推进国家科技发展的高素质技术人才。

北京航空航天大学于 1958 年 10 月 29 日成立了新中国第一个航空无线电系,经过几十年的建设,已拥有信息与通信工程、电子科学与技术、光学工程、交通工程等一级学科,并于 2002 年成立电子信息工程学院。学院依托国家/省部级重点实验室、国家集成电路人才培养基地和北京市电工电子实验教学示范中心,于 2012 年获批空天电子信息国家级实验教学示范中心。示范中心坚持“强化基础、重视实践、突出特色、面向创新”的空天信融合人才培养总体思路,以“战略牵引、科教相融、产学研互动、虚实结合、能实不虚”的设计理念,建设虚实结合实验平台,于 2014 年获批空天电子信息国家级虚拟仿真实验教学中心。

中心建立了信息基础支撑类实验课程群、卫星通信导航类实验课程群、信息获取处理类实验课程群、通用航空类实验课程群、无线网络安全类实验课程群、电磁环境效应类实验课程群等 6 大类实验课程群,可以满足电子信息工程、通信工程、电子科学技术、信息对抗技术、交通运输、光电通信等专业开展跨专业跨学科的实验教学需求。

中心同时作为大学生电子创新基地,承办全国/北京市/校级电子类学科竞赛,承担全校电子信息类学科竞赛赛前训练,包括全国大学生电子设计竞赛、全国挑战杯竞赛、北京市大学生电子设计竞赛、嵌入式专题邀请赛、全国大学生电子设计竞赛信息安全专题邀请赛、全国电子专业人才技能竞赛、全国信息安全竞赛、北航“冯如杯”学生科技竞赛、北航电子创新竞赛等,并在各项比赛中取得了优异的成绩。

结合“新工科”建设和工程教育专业认证的要求,中心整合理论课程实验、开设综合实验、完善科技创新实验,形成了课程实验、综合实验、创新实验的三层次实验教学体系,着

重培养学生工程实践、科技创新及解决复杂工程问题能力。并开设了综合创新实验实践课程,包括《电子设计基础训练》《单片机基础训练》《综合创新-模拟通信》《综合创新-数字通信》《综合创新-综合设计》,贯穿本科一年级到三年级。本着从简单到复杂、从基础到综合、从经典到创新,通过模拟现代复杂工程问题的研发步骤,培养学生使用现代工具认识、解决复杂工程问题的能力与创新意识。

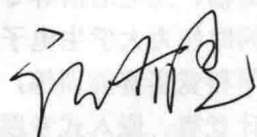
在综合创新实践课程体系基础上,编写了本系列教材(丛书),从电子设计的基础知识,到电路系统的仿真与设计;从简单的电路模块设计,到实际工程电路系统的设计;从电子电路系统设计,到跨学科系统设计。在电子设计基础训练中,主要讲述基本的元器件识别、仪器使用以及在电路调试中常见问题的分析与解决方法;在单片机基础训练中,主要讲述 51 单片机和 Arduino 单片机的基本原理与结构,并以实际的单片机系统为例进行单片机系统设计讲解;在模拟通信和数字通信中,以从通信、导航、雷达系统中提取出的无线收发机为原型,从单元模块到整体讲述模拟/数字无线通信系统的设计与调试方法、FPGA/DSP 系统设计与实现方法等;在综合设计中,结合北航优势特色专业,以工程项目为设计目标,培养跨学科知识运用和系统设计能力。

为了让读者能够更直观地理解知识内容、更快地进行实践,本丛书采用了教学案例以及实际的工程实例,其目的并不只是形成系列的实验指导书,让学生按照步骤实现指定实验内容,而是本着“授人以渔”的理念,通过启发式的讲解,引导学生发现问题、分析问题、解决问题,培养学生重构知识及快速学习新事物的能力。该丛书的正式出版和推广,将有利于形成“新工科”背景下的综合创新实验体系,能够促进电子信息类学生工程实践能力及解决复杂工程问题能力的培养。

丛书的编写创作主要由电子信息领域内具有丰富教学经验的教授、从事一线实验教学的教师及博士硕士研究生担纲,他们既要完成繁重的科研和教学任务,又要专心认真撰写书稿,工作十分辛苦,在此,向丛书作者和审稿专家表示深深的敬意!

希望本丛书中电子系统的设计调试方法及电路系统的调试经验等,能对高等院校、大专院校电子信息类专业的本科生、研究生以及从事电子设计以及对电子设计有兴趣的工程师、研发人员等有所帮助,从而促进我国电子信息技术的发展,为国家信息化建设和国民经济建设做出贡献。

本丛书的出版,得到了北京航空航天大学电子信息工程学院、空天电子信息国家级实验教学示范中心、空天电子信息国家级虚拟仿真实验教学中心等参与单位的大力支持,得到了电子工业出版社领导和竺南直博士的积极推动,得到了参与丛书撰写、编辑和出版工作全体同志的热情帮助,在此一并表示衷心的感谢!



北京市教学名师

工业和信息化部研究型教学创新团队负责人

前言

数字信号处理器件在近几十年发展十分迅速，种类越来越多，运算速度越来越快，功能和性能都不断增强，广泛应用于语音处理、图形图像、航空航天、仪器仪表、医疗和家用电器等产品中，成为电子产品中的核心器件。

现在 DSP 芯片的集成开发环境比较完善，支持 C 语言开发，优化编译效率逐步提高，程序可移植性好，DSP 的原理与开发应用也成为电子信息类学生及技术人员的必备硬件技能。为了能够让更多的 DSP 初学者快速入门，了解 DSP 芯片的基本原理和常用 DSP 芯片的应用，熟悉 DSP 芯片开发工具及使用方法，尽快掌握 DSP 的软硬件设计和应用系统开发方法，具备从事 DSP 芯片软硬件设计和 DSP 系统开发的能力，我们编写了这本教材。

本书以 TI 的 DSP 芯片设计调试为主线，按照 DSP 常识介绍、开发环境、内部寄存器、外设、开发实例的顺序展开，如图 1 所示。

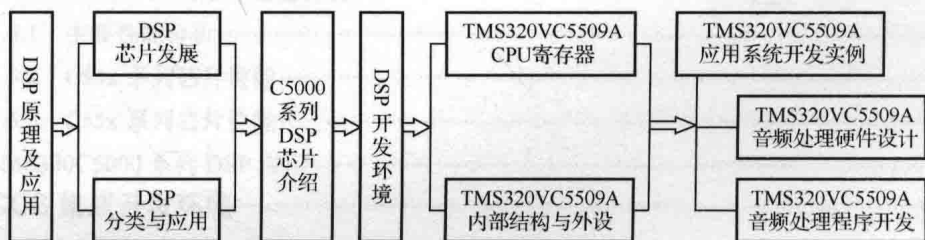


图 1 本书内容组织结构图

第 1 章主要以 TI 公司的 DSP 芯片为例介绍了 DSP 的发展过程、DSP 的分类与应用，引入 C5000 系列 DSP，对其常用的 C54x 和 C55x 系列芯片的结构、性能等进行了比较分析。

第 2 章介绍了 TI 公司 DSP 的集成开发环境 CCS，包括 CCS 的安装、建立工程以及如何调试工程等。

第 3 章详细介绍了 TMS320VC5509A 芯片的 CPU 寄存器。

第 4 章详细介绍了 TMS320VC5509A 芯片结构和片内外设，并给出以芯片支持库 (CSL) 编写的外设调试例程。

第 5 章介绍了 DSP 系统设计的一般流程，并以一个音频处理 DSP 系统为例，从原理图设计、PCB 设计以及 Boot 引导等方面详细介绍了 TMS320VC5509A 芯片的硬件电路设计过程。

第 6 章以第 5 章的硬件电路为基础，介绍了音频滤波数字处理系统和 DTFM 识别与生成系统的程序开发过程，并在附录 C 中给出了源程序代码。

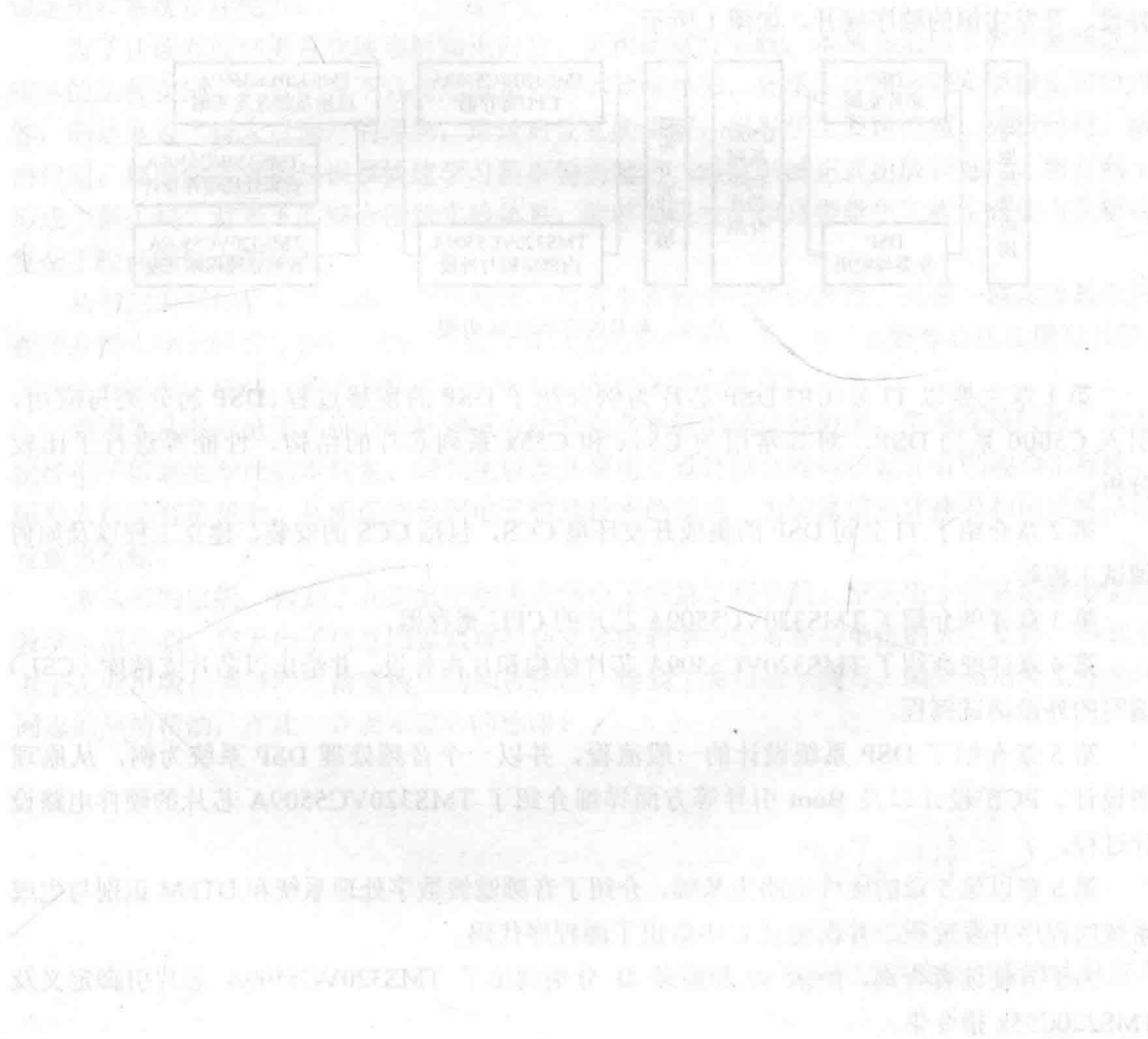
为了方便读者查询，附录 A 和附录 B 分别列出了 TMS320VC5509A 芯片引脚定义及 TMS320C55x 指令集。

本书由张玉玺、王俊、康骊编著，其中张玉玺编著了第1、2、3章及附录A、B、C；王俊编著了第4、5章；康骊根据学生实验课的内容整理了第6章素材；最后由张玉玺对本书进行统稿。本书在编写过程中，北京航空航天大学电子信息工程学院的硕士生樊文贵、尹晗、陈力、张振、马抒恒等结合学位论文和项目调试经验，参与了DSP例程的编写与书稿的编辑工作。

本教材配有开源电路图及源程序，可登录北京航空航天大学空天电子信息实验教学中心网站 (<http://eclab.buaa.edu.cn/>) 免费下载。

书中如有疏漏不当之处，恳请广大读者批评指正。

编著者



反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为，歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396; (010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市海淀区万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

目 录

第 1 章 概论	(1)
1.1 DSP (数字信号处理器)	(1)
1.2 DSP 芯片发展	(1)
1.3 DSP 分类与应用	(3)
1.4 TMS320C5000 系列 DSP 概述	(4)
1.4.1 TMS320C54x 系列 DSP	(5)
1.4.2 TMS320C55x 系列 DSP	(5)
1.4.3 C54x 与 C55x 的比较	(6)
1.4.4 TMS320C5000 系列 DSP 外设接口	(7)
1.5 TMS320C5000 系列芯片性能分析	(7)
1.5.1 主要性能分析	(7)
1.5.2 C54x 系列芯片性能	(8)
1.5.3 C55x 系列芯片性能	(9)
1.6 TMS320C5000 系列 DSP 应用	(11)
第 2 章 CCS 集成开发环境	(12)
2.1 CCS 概述	(12)
2.2 集成代码生成工具	(13)
2.3 CCSv5.1 的安装	(14)
2.4 利用 CCSv5.1 新建工程	(16)
2.5 利用 CCSv5.1 导入已有工程	(19)
2.6 利用 CCSv5.1 配置工程选项	(20)
2.7 利用 CCSv5.1 调试工程	(25)
2.8 CCSv5.1 资源管理器简介及应用	(28)
第 3 章 TMS320VC5509A CPU 寄存器	(30)
3.1 寄存器列表	(30)
3.1.1 寄存器的存储器映射	(31)
3.1.2 累加器 (AC0~AC3)	(34)
3.1.3 变换寄存器 (TRN0, TRN1)	(35)
3.1.4 临时寄存器 (T0~T3)	(35)
3.1.5 数据和 I/O 空间寻址寄存器	(35)
3.1.6 程序流寄存器 (PC, RETA, CFCT)	(40)
3.1.7 中断管理寄存器	(41)
3.1.8 循环控制寄存器	(45)
3.1.9 状态寄存器 (ST0_55~ST3_55)	(46)

3.2	存储器和 I/O 空间	(47)
3.2.1	存储器概述	(47)
3.2.2	程序空间	(48)
3.2.3	数据空间	(48)
3.2.4	I/O 空间	(50)
3.3	数据堆栈和系统堆栈	(50)
3.3.1	数据堆栈和系统堆栈	(50)
3.3.2	堆栈配置	(51)
3.3.3	快返回与慢返回	(51)
3.3.4	自动上下文切换	(52)
3.4	寻址模式	(53)
3.4.1	概述	(53)
3.4.2	绝对寻址模式	(54)
3.4.3	直接寻址模式	(55)
3.4.4	间接寻址模式	(59)
3.4.5	寄存器位寻址	(69)
3.4.6	环形寻址	(70)
第 4 章	TMS320VC5509A 内部结构与外设	(72)
4.1	总体概述	(72)
4.2	时钟发生器	(73)
4.2.1	时钟发生器工作原理	(74)
4.2.2	时钟发生器调试方法及结果	(75)
4.2.3	时钟发生器程序示例	(75)
4.3	通用定时器	(76)
4.3.1	通用定时器工作原理	(77)
4.3.2	通用定时器调试方法及结果	(78)
4.3.3	通用定时器程序示例	(78)
4.4	看门狗定时器	(79)
4.4.1	看门狗定时器的工作原理	(79)
4.4.2	看门狗定时器调试方法及结果	(81)
4.4.3	看门狗定时器程序示例	(81)
4.5	GPIO	(82)
4.5.1	GPIO 工作模式	(82)
4.5.2	GPIO 调试方法及结果	(83)
4.5.3	GPIO 程序示例	(83)
4.6	中断	(84)
4.6.1	中断工作原理	(84)
4.6.2	中断调试方法及结果	(85)
4.6.3	中断程序示例	(86)

4.7	EMIF	(86)
4.7.1	EMIF 工作原理	(86)
4.7.2	EMIF 调试方法及结果	(89)
4.7.3	外部存储器接口程序示例	(89)
4.8	HPI	(90)
4.8.1	HPI 接口工作原理	(90)
4.8.2	HPI 模块调试方法及结果	(91)
4.8.3	HPI 程序示例	(92)
4.9	McBSP	(92)
4.9.1	McBSP 工作原理	(94)
4.9.2	McBSP 调试方法及结果	(95)
4.9.3	McBSP 程序示例	(96)
4.10	I ² C	(98)
4.10.1	I ² C 模块工作原理	(99)
4.10.2	I ² C 模块调试方法及结果	(101)
4.10.3	I ² C 模块程序示例	(102)
4.11	USB	(102)
4.11.1	USB 模块工作原理	(103)
4.11.2	USB 调试方法及结果	(104)
4.11.3	USB 模块程序示例	(104)
4.12	ADC	(105)
4.12.1	模数转换器工作原理	(106)
4.12.2	ADC 调试方法及结果	(106)
4.12.3	模数转换器程序示例	(107)
第 5 章	基于 TMS320VC5509A 的音频处理 DSP 系统硬件设计	(108)
5.1	音频处理 DSP 系统硬件电路组成	(108)
5.2	模块电路元器件选型及原理图设计	(109)
5.2.1	电源模块设计	(109)
5.2.2	复位电路设计	(110)
5.2.3	时钟电路设计	(111)
5.2.4	JTAG 接口电路设计	(111)
5.2.5	程序加载设计	(112)
5.2.6	音频输入/输出电路设计	(116)
5.3	PCB 设计	(117)
5.3.1	布局设计	(117)
5.3.2	布线设计	(118)
5.4	电路调试	(121)
5.4.1	硬件调试前电路板的常规检查	(121)
5.4.2	调试中遇到问题的解决步骤	(122)

5.4.3	JTAG 连接错误常用解决办法	(122)
5.4.4	数据读/写测试	(123)
5.5	Boot	(124)
5.5.1	EEPROM 的读/写	(124)
5.5.2	DSP bootLoader 烧写步骤	(126)
第 6 章	基于 TMS320VC5509A 的音频处理 DSP 系统程序设计	(129)
6.1	概述	(129)
6.2	采集语音	(130)
6.3	时域滤波	(135)
6.4	频域滤波	(141)
6.5	语音输出	(143)
6.6	双音多频的识别与生成	(144)
6.6.1	双音多频的识别	(144)
6.6.2	双音多频生成	(146)
附录 A	TMS320VC5509A 芯片引脚图及定义	(150)
附录 B	指令集	(157)
附录 C	代码示例	(177)
参考文献		(202)

第 1 章 概 论

1.1 DSP（数字信号处理器）

DSP 的含义主要有两种，第一，作为数字信号处理（Digital Signal Processing）学科，其是面向电子信息学生开放的，以数字运算方法实现信号变换、滤波、检测、估值、调制解调以及快速算法等处理的专业基础课；第二，作为数字信号处理器（Digital Signal Processor），其是针对数字信号或数字系统，由大规模或超大规模集成电路芯片组成的用来完成数字信号处理任务（检测、滤波、参数估计等）的处理器。

DSP（数字信号处理器）是专门为了数字信号处理应用而设计的高速芯片，解决了原来处理器结构复杂、单片微机速度达不到实时系统要求的问题。DSP 不同于早期微处理器的冯·诺依曼结构，其内部采用了程序存储器和数据存储器分开的哈佛（Harvard）结构，如图 1.1 所示。这种结构允许 DSP 同时取指令（来自程序存储器）和取操作数（来自数据存储器），而且还允许在程序存储器和数据存储器之间传送数据。DSP 芯片工作于流水线模式，而且程序执行中的各种阶段是重叠执行的，即在执行本条指令的同时，还依次完成了后面三条指令的取操作数、译码和取指令的任务，将指令周期降到最小值。从某种意义上讲，DSP 芯片通过使用更多的资源换取了高速数据处理的实时性要求。

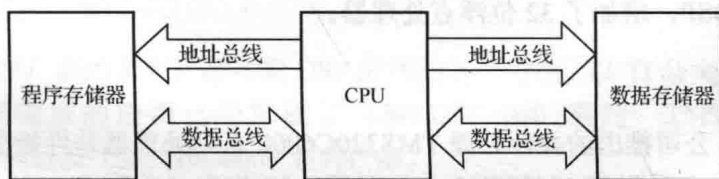


图 1.1 DSP 的哈佛结构

基于 DSP 的信号处理系统，由于 DSP 芯片具有可编程性，而且编程主要为 C 语言环境，开发相对容易。这种系统的信号处理速度快、处理能力强、具有很好的实时性能。随着 DSP 信号处理能力的不断提高，DSP 已成为数字信号处理系统中最为重要的信号处理器件之一。

1.2 DSP 芯片发展

世界上第一个 DSP 芯片是 1978 年 AMI 公司发布的 S2811。1979 年美国 Intel 公司发布的商用可编程器件 2920 是 DSP 芯片的一个重要里程碑。这两种芯片内部都没有现代 DSP 芯片必须有的单周期乘法器。1980 年日本 NEC 公司的 μ D7720 是第一个具有乘法器的商用 DSP 芯片。1982 年日本 Hitachi 公司推出了第一款浮点 DSP 芯片。

在 DSP 设计上最为成功的 DSP 芯片制造商——美国德州仪器（TI）公司，1982 年推出



了第一款数字信号处理器 TMS32010, 加上后续推出的 TMS32011 以及 TMS320C10 等处理器, 形成了 DSP 第一代系列产品; 此后, TI 公司又陆续推出了第二代、第三代等 DSP 系列产品, 并形成了 TMS320 系列 DSP。由于 TMS320 系列 DSP 芯片具有价格低廉、简单易用、功能强大等特点, 所以逐渐成为目前最有影响、最为成功的 DSP 系列处理器。自 DSP 芯片出现开始, 它的发展大致经历了 5 个阶段, 形成了目前 DSP 系列的五代产品。

1. 第一代 DSP

1982 年, TI 公司推出的 TMS320C10 是第一代 DSP 代表, 它是 16 位定点 DSP, 首次采用哈佛结构, 它完成乘累加运算的时间为 390ns, 处理速度较慢。

2. 第二代 DSP

1985 年, TI 公司推出的 TMS320C20 芯片是早期的第二代 DSP, 它具备单指令循环的硬件支持, 一次乘加运算时间为 200ns。随后 TI 公司又推出了 TMS320C25/C26/C28, 并在 TMS320C25 的基础上开发了 TMS320C50 芯片, 它采用了高级哈佛结构, 增加了外围电路及更多的片上存储器, 运算速度达到 35ns, 是较高性能的第二代处理器。

3. 第三代 DSP

1995 年, 出现了第三代定点 DSP 产品, 如 TI 公司的 TMS320C5402, TMS320C5416, TMS320C5420 等。这些产品改进了内部结构, 增加了并行处理单元, 扩展了内部存储器容量, 提高了处理速度, 指令周期大约为 20ns。同期出现了功能更强的浮点 DSP, 如 TI 公司的 TMS320C3x 系列 DSP, 增加了 32 位浮点处理器。

4. 第四代 DSP

1997 年初, TI 公司推出的并行处理 TMS320C6000 系列处理器是性能更高的第四代处理器, 其包含 16 位定点系列 TMS320C62xx 处理器、32 位定点系列 TMS320C64xx 处理器以及浮点系列 TMS320C67xx 处理器, 其中定点 C64xx 系列处理器的处理速度可以达到 9600MIPS (Million Instructions Per Second, 每秒钟执行的百万指令数), 浮点 C67xx 系列可达 1GFLOPS (Giga Floating-point Operations Per Second, 每秒钟执行的 10 亿次的浮点运算数)。

采用并行多处理芯片组成 DSP 阵列, 可获得更高的处理性能。但需要 DSP 提供足够高速方便的互联接口。TI 公司将 RapidIO 技术引入 TMS320C6000 系列处理器, 期望在并行多片 DSP 市场上争取更高的市场份额。

5. 第五代 DSP

真正意义上 DSP 性能的飞跃是多核高性能 DSP 芯片的出现, 即 2008 年 TI 的 TMS320C6474 多核处理器面世, 随后 TI 还推出了性能更高的 TMS320C66xx 系列多核处理器。多核 DSP 的出现解决了并行多 DSP 阵列芯片之间数据交换、系统功耗等问题, 是未来高性能 DSP 的发展方向。

图 1.2 以 TI 公司为例概述了 DSP 的发展和演变过程。

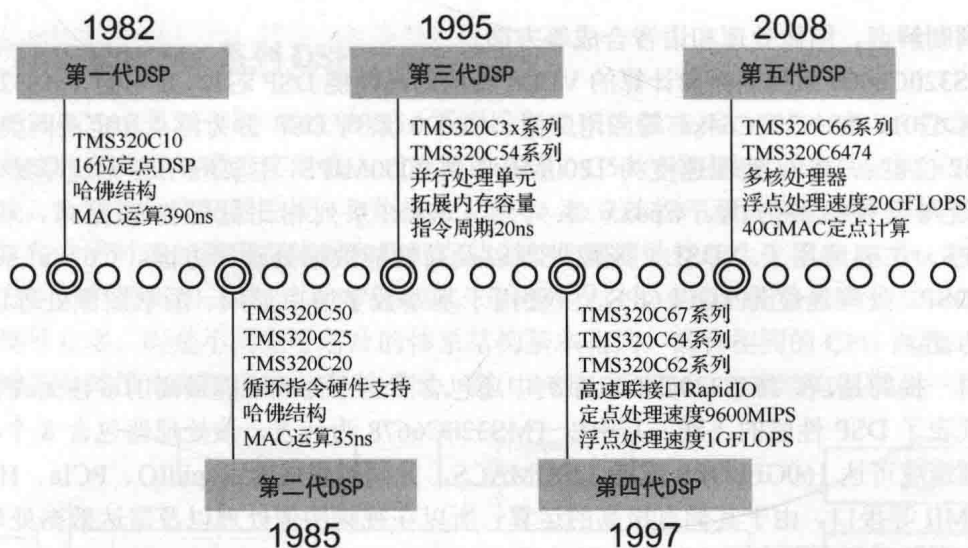


图 1.2 DSP 的发展和演变过程

1.3 DSP 分类与应用

不同应用场合对 DSP 的要求不尽相同,因此出现了 DSP 发展的多样化。依据处理数据类型, DSP 可分为定点处理器和浮点处理器;依据处理性能要求不同, DSP 可分为低端处理器和高端处理器;依据应用场合不同, DSP 可分为控制类处理器、计算类处理器、多功能协同类处理器,等等。

各大 DSP 生产厂商的系列产品占据 DSP 应用的各个方面。以 TI 公司为例,自 1982 年以来为了适应不同领域的应用已经形成了 TMS320C2000 系列、TMS320C3000 系列、TMS320C5000 系列以及 TMS320C6000 系列产品。

TMS320C2000 系列是面向电机控制、存储等数控系统的定点 DSP 芯片,其具体包含 C20x, C24x 以及 C28x 三个系列。其中 C20x 与 C24x 为 16 位定点 DSP,运算速度为 20MIPS。C20x 主要用在电话、数字相机和售货机当中, C24x 主要用在数字电机控制、空调、电力控制系统当中。C28x 作为第一颗针对控制进行优化的 DSP,主要应用在工业设计方面。除了定点 DSP,该系列还包括拥有 32 位浮点处理器的浮点 DSP,其中应用最为广泛的是 TMS320F2407 及其后续产品 TMS320F2812。

TMS320C3000 系列是面向计算的浮点处理 DSP 芯片,配套有 32 位浮点处理器,包含 C30x、C31x、C32x 以及 C33x 四个系列。浮点处理速度可达 50MFLOPS,定点处理速度可达 25MIPS。其中 TMS320VC33 型号在通信、手机、MODEM 以及 DVD 等方面得到了广泛应用。

TMS320C5000 系列是面向网络应用的低功耗定点 DSP 芯片,主要包含 C54x 以及 C55x 两个系列。其处理速度从 80MIPS 到 400MIPS 不等,在芯片内部增加了并行处理单元以及专门的功耗控制单元。C54x 系列为 16 位定点 DSP,处理速度从 80MIPS 到 200MIPS,其中的 TMS320C5402 等应用广泛。C55x 系列与 C54x 系列相比处理速度更快,功耗更低,每个 MIPS 只需消耗 0.05mW,并且提供了 C54x 系列没有的 EMIF 外部存储器接口,主要应用在语音编



解码、调制解调、图像处理和语音合成等方面。

TMS320C6000 系列是面向计算的 VLIM 结构的高性能 DSP 芯片,其中的 TMS320C6201、TMS320C6701、TMS320C64xx 等应用广泛。C6000 系列 DSP 分为浮点和定点两类,C62xx 系列为 32 位定点 DSP,处理速度为 1200MIPS 到 2000MIPS,主要应用在无线基站、ADSL、网络系统与交换机等方面。C64xx 系列与 C62xx 系列相比处理性能更高,可以达到 9600MIPS,主要应用于 XDSL、成像处理以及高性能数据处理等方面。C67xx 系列为 32 位浮点 DSP,处理速度为 1GFLOPS,主要用于基站数字波束形成、医学图像处理以及语音识别等方面。

值得一提的是,在 TMS320C6000 系列中还包含了当今处理性能最高的多核处理器 C66xx 系列,代表了 DSP 性能的飞跃。其中以 TMS320C6678 为代表,该处理器包含 8 个核,8 核最高处理速度可达 160GFLOPS 或者 320GMACS,并同时集成有 RapidIO、PCIe、HyperLink 以及 SGMII 等接口。由于其拥有极高的运算,所以在视频图像处理以及雷达数据处理等数据量大、实时性强的方面有着广泛的应用前景。

此外,TI 公司为了进入 3G 以及 4G 市场还专门开发了融合 DSP 和 ARM 架构的 OMAP 系列,以适应无线终端多媒体处理的要求。OMAP 系列的发展已经从 OMAP1 发展到 OMAP5,各代产品在智能手机、多媒体平台以及其他移动终端产品上得到了广泛的应用。

除了上述系列的 DSP 处理器外,TI 公司还推出过 TMS320C4000 系列及 TMS320C8000 系列处理器,但是由于市场原因并没有得到广泛的应用,所以上述两个系列的处理器也逐渐淡出市场。

在 TI 公司众多系列中,TMS320C5000 系列是目前中端市场上最通用、最流行的 DSP 处理器。相比于 C2000 系列及 C3000 系列,C5000 系列的处理速度有了显著提高,并且接口丰富便于扩展;相比于 C6000 系列及多核处理器,C5000 系列价格便宜且有着 C6000 系列难以比拟的低功耗优势。C5000 系列以其高性价比、实用节能的特点依然活跃在当今的 DSP 市场之中。

1.4 TMS320C5000 系列 DSP 概述

TMS320C5000 系列芯片是 TI 公司推出的高性能、低功耗、低成本的 16 位定点 DSP 处理器,广泛应用于无线通信系统设备和远程通信等实时嵌入系统,迄今为止已经发布了三代产品 TMS320C5x、TMS320C54x 和 TMS320C55x,其中目前主推 TMS320C54x 和 TMS320C55x 两类系列芯片。TMS320C55x 是在 TMS320C54x 的基础上发展而来的,其源代码也与 C54x 的兼容。300MHz 的 C55x 和 120MHz 的 C54x 相比,C55x 达到了 C54x 的 2 倍的周期效率,性能提升了 5 倍,并且功耗只有 C54x 的 1/6,将低功耗提到一个新水平。C55x 在结构上做了很大的拓展,在指令集上有很大的提高。C55x 的内核电压降到了 1.6V,而功耗降到了 0.05mW/MIPS,其独特的节能技术使 C55x 中未使用部分非工作期间内关闭,各部分的开和关可以自行处理以便不同应用的功耗优化。C55x 因其优异的性能和极低的功耗在许多便携式产品中广泛应用,成为通信和个人消费领域具有相当竞争力的主流 DSP 产品。



1.4.1 TMS320C54x 系列 DSP

TMS320C54x 是继早期 TMS320C5x 系列发展起来的低功耗、高性能的 16 位定点 DSP，高度的集成化使其能够适应实时嵌入式应用的需要。C54x 采用改进的哈佛结构（1 组程序存储器总线，3 组数据存储器总线，4 组地址总线），独立的程序和数据总线，提供了高度的并行操作，允许同时访问程序存储器和数据存储器使处理器的性能大大提高。C54x 总体结构是由具有专用硬件逻辑的 CPU，片内存储器，片内外设以及专用的指令集所构成。C54x 系列中成员型号众多，但是不同型号芯片的体系结构基本相同，具有相同的 CPU 内核，差别主要在于存储器和外围电路配置情况有所不同。图 1.3 给出了 C54x 内部结构框图。

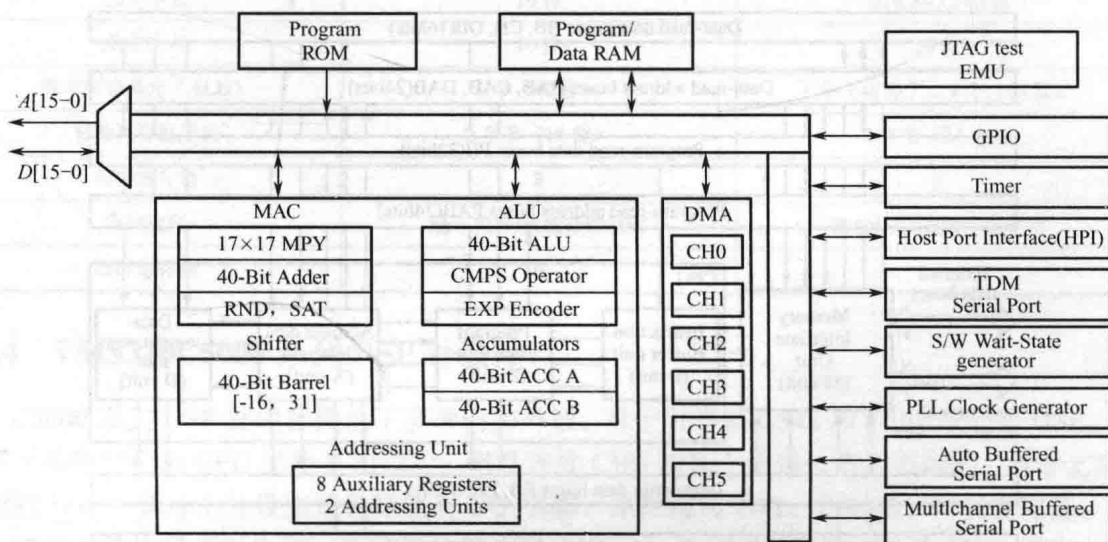


图 1.3 C54x 内部结构框图

按照 C54x 的功能架构和处理流程可以将其内部功能分为 4 大模块：

- (1) CPU，包括算术逻辑运算单元（ALU）、17×17 位的并行乘法器、累加器、移位寄存器、各种专门用途的寄存器、双地址生成器及多条内部总线。
- (2) 存储器系统，包括片内的程序/数据 ROM、片内单寻址 RAM 和双寻址 RAM、外接存储器接口。
- (3) 片内外设与专用硬件电路，包括片内的定时器、各种类型的串口、并行接口、片内的锁相环（PLL）时钟发生器及各种控制电路。
- (4) 指令系统，包括 32 位运算指令、多操作读取指令、并行存储和并行加载的算术指令、单周期重复和块指令重复。

1.4.2 TMS320C55x 系列 DSP

TMS320C55x 是 TMS320C5000 系列的新一代产品，C55x 处理速度明显提高，功耗明显降低。与 C54x 相比，C55x 在结构上复杂得多，C55x 具有 2 个 MAC 单元，4 个 40 位累加器，能够在单周期内作 2 个 17×17 位的乘法运算。C55x 具有 12 条独立总线，即：1 条程序读总线，1 条程序地址总线，3 条数据读总线，2 条数据写总线，5 条数据地址总线，其指令单元