



工业和信息化部“十二五”规划教材

21 世纪高等院校电气工程与自动化规划教材

21 century institutions of higher learning materials of Electrical Engineering and Automation Planning

P rinciples and Application Technologies
of DSP Controller

DSP 控制器原理 与应用技术

姚睿 付大丰 储剑波 编著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



工业和信息化部“十二五”规划教材

21 世纪高等院校电气工程与自动化规划教材
21 century institutions of higher learning materials of Electrical Engineering and Automation Planning

P rinciples and Application Technologies of DSP
Controler

DSP 控制器原理 与应用技术

姚睿 付大丰 储剑波 编著

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

DSP控制器原理与应用技术 / 姚睿, 付大丰, 储剑波
编著. — 北京: 人民邮电出版社, 2014. 9
21世纪高等院校电气工程与自动化规划教材
ISBN 978-7-115-36277-3

I. ①D… II. ①姚… ②付… ③储… III. ①数字信号—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(2014)第148984号

内 容 提 要

本书选择 TI C2000 中 32 位浮点处理器 TMS320F28335 为例, 全面介绍了 DSP 控制器的原理与应用技术。全书共分 8 章, 系统地讲述了 DSP 的基本概念、硬件基础、软件开发基础、基本外设及其应用开发方法、常用控制类和通信类外设模块原理及其应用开发方法、应用系统设计方法, 以及基于 Proteus 的 DSP 系统设计与仿真方法。全书内容详实, 通俗易懂, 章节安排符合 DSP 开发流程, 结构合理、重点突出、应用实例丰富。每章配有内容提要, 附有习题与思考题, 便于教学与自学。通过本书的学习, 读者可以由浅入深地掌握 DSP 控制器原理与开发应用技术。

本书可作为普通高等院校相关专业研究生、高年级本科学生的 DSP 控制器原理与技术应用类课程教材, 也可供科技人员自学时参考。

◆ 编 著 姚 睿 付大丰 储剑波

责任编辑 张孟玮

执行编辑 税梦玲

责任印制 彭志环 杨林杰

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京鑫正大印刷有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 16.75

2014 年 9 月第 1 版

字数: 419 千字

2014 年 9 月北京第 1 次印刷

定价: 39.00 元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

目前,美国德州仪器公司(TI)的数字信号处理器以其独特的体系结构、灵活的资源配置方式、各种数字信号处理和精密控制算法的快速简易实现等突出优点,占据了全球市场的半壁河山。其中 TMS320C2000 系列 DSP 控制器集 DSP 内核和控制外设为一体,既具有数字信号处理能力,又具备强大的嵌入式控制功能,非常适合用于数字电源、数字电机控制、可再生能源、电力线通信、照明等领域。

为使读者快速简单地掌握 DSP 的设计与开发,本书选择 TI C2000 中 32 位浮点处理器 TMS320F28335 为例,本着“注重基础、立足应用、便于教学,简化硬件、突出软件”的原则,系统、全面地介绍 DSP 控制器的原理与应用技术。

全书首先从 DSP 的硬件基础入手,讲述了构成 DSP 最小系统的基本硬件组成和原理;接着给出了基于 CCS 的软件开发方法,全面介绍了各种 DSP 软件开发手段;然后给出了常用的片内外设模块原理及其应用开发方法,对每个外设模块,力图做到简化硬件和原理,突出应用和软件编程;接着介绍了 DSP 应用系统设计方法,讲述了 DSP 最小系统和常用接口电路的设计方法,并以永磁同步电机的 DSP 控制系统设计为例,讲述了 DSP 应用系统的软、硬件设计方法;最后给出了基于 Proteus 的现代 DSP 系统开发方法,方便读者在没有硬件开发板的条件下进行 DSP 应用系统开发的前期仿真和准备工作。

全书共分 8 章,第 1 章为绪论,讲述了 DSP 的基本概念、应用系统构成、市场上典型 DSP 芯片和 TI 公司用于控制领域的 DSP 控制器的概况,以及 TMS320F28335 的主要性能特点及芯片封装和引脚分配。第 2 章讲述了 DSP 控制器的内部硬件基础,包括其功能结构、内核结构、存储器配置、时钟源模块、电源与系统复位等。第 3 章为 DSP 的软件开发基础,内容覆盖了软件开发流程,汇编、C 程序开发基础和混合编程方法,CCS 集成开发环境应用,以及基于示例模板的驱动程序开发方法。第 4 章为基本外设及其开发应用,以通用数字量输入输出(GPIO)模块、中断管理系统和 CPU 定时器 3 个最为基础的外设为例,讲述了 DSP 控制器片内外设模块的开发方法,包括其结构与工作原理、控制方法和寄存器,以及应用示例。第 5 章为控制类外设及其应用开发,给出了增强脉宽调制、增强捕获单元和增强正交编码脉冲电路,以及模/数转换模块等控制类外设的结构、原理、控制方法与应用开发示例。第 6 章为通信类外设及其应用开发,给出了串行通信接口 SCI 模块、串行外设接口 SPI 模块、控制器局域网 CAN 模块、多通道缓冲串口 McBSP 和内部集成电路 I²C 模块等通信类外设的结构、原理、控制方法与应用开发示例。第 7 章为应用系统设计,包

括最小系统设计、模数接口电路设计、数据通信电路设计、人机接口及显示电路设计，以及永磁同步电机的 DSP 控制系统设计。第 8 章为基于 Proteus 的 DSP 系统设计与仿真，给出了 Proteus 仿真基础、基于 Proteus 的 DSP 系统设计与仿真步骤，以及设计示例。每章配有内容提要，附有习题与思考题，有助于教学与自学。

全书内容较为系统全面，章节安排符合 DSP 开发流程，结构合理、重点突出、内容详实、通俗易懂，工程应用实例丰富，读者可以循序渐进、由浅入深地掌握 DSP 控制器原理与开发应用技术。

本课程的参考教学时数为 40~56 学时，建议采用理论与实践融合的教学模式，各章的参考教学课时见以下的学时分配表。

学时分配表

章 节	课 程 内 容	学 时 分 配	
		讲授	实验
第 1 章	绪论	2	
第 2 章	硬件基础	7	
第 3 章	软件开发基础	7	2
第 4 章	基本外设及其应用开发	6	2
第 5 章	控制类外设及其应用开发	7	4
第 6 章	通信类外设及其应用开发	6	2
第 7 章	DSP 应用系统设计	4	4
第 8 章	基于 Proteus 的 DSP 系统设计与仿真	1	2
学 时 总 计		40	16

本书由姚睿任主编。第 1~5 章、第 6.1~6.2 节、第 7.1~7.4 节由姚睿编写，第 8 章和第 6.3~6.5 节由付大丰编写，第 7.5 节由储剑波编写。在教材大纲制订和编写工作中，南京航空航天大学王友仁教授和陈鸿茂教授提出了很多宝贵的指导意见，并承蒙河海大学物联网工程学院江冰教授、南京航空航天大学陈鸿茂教授和空军勤务学院汪军老师审阅了本书，在此表示诚挚的谢意。研究生钟雪燕、鲍小胜、徐旭明、陈芹芹、孙艳梅、郭庆新、何坤、邓小峰、李增武等参与了书中插图绘制、文稿录入和程序开发与整理工作，在此一并致谢。本书在撰写过程中参考了大量的文献资料，在此谨向其作者表示衷心的感谢。教材中部分示例采用了 TI 官网提供的开发例程，在此表示诚挚的感谢。

由于作者水平和能力有限，书中可能存在疏漏和不当之处，敬请各位读者批评指正。

编 者
2014 年 3 月

目 录

第1章 绪论	1	2.3.1 存储空间映射	22
1.1 概述	1	2.3.2 片内存储器配置	22
1.1.1 数字信号处理及其实现方法	1	2.3.3 外部存储器接口	24
1.1.2 DSP 的主要特点	2	2.4 时钟源模块	24
1.2 DSP 的发展及应用	3	2.4.1 概述	24
1.2.1 DSP 的发展	3	2.4.2 各子模块及其控制	25
1.2.2 DSP 的典型应用	4	2.5 电源与系统复位	30
1.3 DSP 应用系统及其设计开发	5	2.5.1 供电电源	30
1.3.1 DSP 应用系统的构成	5	2.5.2 系统复位	30
1.3.2 DSP 应用系统的设计方法	5	习题与思考题	30
1.4 典型 DSP 简介	6	第3章 软件开发基础	32
1.4.1 市场上 DSP 概况	6	3.1 DSP 软件开发流程	32
1.4.2 TI 的 DSP 处理器概况	6	3.2 汇编程序开发基础	33
1.4.3 TMS320C2000 系列 DSP		3.2.1 寻址方式与指令系统	33
控制器	7	3.2.2 公共目标文件格式	36
1.5 TMS320F28335 DSP 控制器简介	9	3.2.3 汇编程序开发	40
1.5.1 TMS320F28335 芯片封装		3.3 C/C++ 程序开发基础	42
和引脚	9	3.3.1 TMS320x28xx C/C++ 优化	
1.5.2 TMS320F28335 DSP		编译器	42
控制器性能概述	10	3.3.2 C/C++ 编程基础	44
1.6 DSP 控制器的基本原理和		3.4 C/C++ 和汇编混合编程	48
学习方法	11	3.4.1 C/C++ 编译器运行环境	48
习题与思考题	12	3.4.2 C/C++ 和汇编接口	52
第2章 硬件基础	13	3.4.3 混合编程方法	53
2.1 内部功能结构	13	3.5 集成开发环境及其应用	57
2.1.1 总体结构及功能模块概述	13	3.5.1 集成开发环境简介	57
2.1.2 总线结构与流水线	14	3.5.2 DSP 应用程序开发调试示例	60
2.2 中央处理单元	16	3.5.3 程序烧写	66
2.2.1 C28x CPU 执行单元	16	3.5.4 通用扩展语言 (GEL) 简介	66
2.2.2 C28x CPU 兼容模式	18	3.5.5 DSP/BIOS 工具简介	67
2.2.3 C28x CPU 寄存器组	18	3.6 基于示例模板的驱动程序开发	67
2.2.4 浮点处理单元 FPU 及其		3.6.1 驱动程序开发包简介	67
寄存器组	21	3.6.2 外设寄存器访问的硬件	
2.3 存储器与存储空间	22		

抽象层方法.....	68	5.3.4 eQEP 中断控制.....	129
3.6.3 片内外设驱动程序示例		5.3.5 eQEP 应用示例.....	130
文件模板.....	71	5.4 模/数转换(ADC)模块.....	134
3.6.4 驱动程序设计方法.....	72	5.4.1 ADC 模块结构及工作原理...134	
习题与思考题.....	72	5.4.2 ADC 模块的寄存器.....	141
第4章 基本外设及其应用开发	75	5.4.3 ADC 模块应用示例.....	144
4.1 通用数字输入/输出(GPIO)		习题与思考题.....	145
模块.....	75	第6章 通信类外设及其应用开发	148
4.1.1 GPIO 模块结构与工作原理...75		6.1 串行通信(SCI)模块.....	148
4.1.2 GPIO 寄存器.....	76	6.1.1 SCI 模块的结构与工作原理...148	
4.1.3 GPIO 模块应用示例.....	80	6.1.2 SCI 模块的寄存器.....	154
4.2 中断管理系统.....	83	6.1.3 SCI 模块应用示例.....	158
4.2.1 中断管理系统概述.....	83	6.2 串行外设(SPI)模块.....	160
4.2.2 各级中断及其管理.....	84	6.2.1 SPI 模块结构与工作原理...160	
4.2.3 中断响应过程.....	87	6.2.2 SPI 模块的寄存器.....	163
4.2.4 中断向量表及其映射与描述...88		6.2.3 SPI 模块应用示例.....	166
4.3 CPU 定时器.....	92	6.3 增强控制器局域网(eCAN)	
4.3.1 CPU 定时器结构与工作原理...92		模块.....	168
4.3.2 CPU 定时器的寄存器.....	92	6.3.1 CAN 总线及 CAN 帧格式...168	
4.3.3 CPU 定时器中断示例.....	93	6.3.2 eCAN 结构与工作原理.....	168
习题与思考题.....	94	6.3.3 eCAN 模块的寄存器.....	169
第5章 控制类外设及其应用开发	96	6.3.4 eCAN 模块的操作控制.....	176
5.1 增强脉宽调制(ePWM)模块.....	96	6.3.5 eCAN 模块应用示例.....	180
5.1.1 ePWM 模块结构及工作原理...96		6.4 多通道缓冲串口(McBSP)	
5.1.2 ePWM 各子模块及其控制.....	98	模块.....	182
5.1.3 ePWM 应用示例.....	109	6.4.1 McBSP 的结构与工作原理...182	
5.1.4 高精度脉宽调制模块.....	111	6.4.2 McBSP 寄存器.....	185
5.2 增强捕获(eCAP)模块.....	112	6.4.3 McBSP 模块应用示例.....	189
5.2.1 捕获模式下结构及工作原理...113		6.5 I ² C 总线模块.....	192
5.2.2 APWM 模式下结构及		6.5.1 I ² C 总线的构成及信号类型...192	
工作原理.....	114	6.5.2 I ² C 总线模块结构与工作原理...192	
5.2.3 eCAP 中断控制.....	115	6.5.3 I ² C 总线模块的寄存器.....	193
5.2.4 eCAP 模块的寄存器.....	115	6.5.4 I ² C 总线模块应用示例.....	196
5.2.5 eCAP 应用示例.....	116	习题与思考题.....	200
5.3 增强正交编码脉冲(eQEP)		第7章 DSP 应用系统设计	201
模块.....	119	7.1 DSP 最小系统设计.....	201
5.3.1 光电编码器工作原理.....	119	7.1.1 电源电路设计.....	201
5.3.2 eQEP 模块结构及工作原理...120		7.1.2 复位电路设计.....	204
5.3.3 eQEP 子模块及其控制.....	120	7.1.3 时钟电路设计.....	205

7.1.4 JTAG 接口电路设计	205
7.1.5 3.3V 和 5V 混合逻辑 系统接口设计	205
7.1.6 外部存储器扩展	206
7.2 模数接口电路设计	207
7.2.1 片内 ADC 模块输入保护 电路设计	208
7.2.2 并行 ADC 接口电路设计	209
7.2.3 并行 DAC 接口电路设计	210
7.2.4 扩展并行接口的访问	211
7.3 串行数据通信接口电路设计	212
7.3.1 串行通信接口 (SCI)	212
7.3.2 串行外设接口 (SPI)	212
7.3.3 CAN 总线控制器接口	213
7.3.4 I ² C 日历时钟电路设计	213
7.4 人机接口及显示电路设计	217
7.4.1 键盘接口电路	217
7.4.2 LED 显示电路	218
7.4.3 LCD 及其接口电路	222
7.5 永磁同步电机 DSP 控制系统 设计	225

7.5.1 永磁同步电机的数学模型	225
7.5.2 基于 DSP 的永磁同步 电动机矢量控制系统设计	227
习题与思考题	237
第 8 章 基于 Proteus 的 DSP 系统 设计与仿真	238
8.1 Proteus 开发环境简介	238
8.1.1 Proteus 的软件组成	238
8.1.2 Proteus ISIS 基本操作	239
8.2 Proteus ISIS 原理图设计	241
8.2.1 智能原理图输入流程	241
8.2.2 原理图绘制常用工具	241
8.2.3 Proteus VSM 虚拟系统模型	244
8.3 DSP 系统设计与仿真	244
8.3.1 设计示例	245
8.3.2 仿真示例	251
习题与思考题	252
附录 176 引脚 LQFP 封装 F28335 引脚功能分配和描述	253
参考文献	259

【内容提要】

伴随着社会的数字化浪潮,数字信号处理已成为电路系统从模拟时代向数字时代迈进的重要理论基础。数字信号处理系统可以将接收到的模拟信号转换成数字信号,进行实时的数字技术处理。

本章讲述了 DSP 的概况。首先概述了 DSP 的含义、特点、发展和典型应用;接着给出了 DSP 应用系统的构成和设计方法;然后简要介绍了市场上典型 DSP 芯片,重点介绍了 TI 公司用于控制领域的 DSP 控制器的概况;最后给出了 TI 高性能浮点系列 DSP 控制器 TMS320F28335 的主要性能特点及芯片封装和引脚分配。

1.1 概述

1.1.1 数字信号处理及其实现方法

数字信号处理(Digital Signal Processing, DSP)是指利用计算机或专用信号处理设备,对信号进行数字处理(包括采集、变换、滤波、估值、增强、压缩、识别等)。它以数学、计算机、微电子学等众多学科为理论基础,广泛应用于通信、控制、图像处理、语音识别、生物医学、消费电子、军事和航空航天等诸多领域。

数字信号处理的实现方法很多,总体上可分为软件实现和硬件实现。软件实现主要在通用计算机(如个人计算机)上用软件(如 C/C++或 MATLAB)实现。其缺点是速度较慢,故主要用于 DSP 算法的模拟与仿真。

硬件实现的方法较多,如使用通用单片机(如 MCS51)、通用可编程器件(如现场可编程门阵列(Field-Programmable Gate Array, FPGA)或复杂可编程逻辑器件 CPLD)、通用数字信号处理器(Digital Signal Processor, DSP)也称 DSP 处理器或 DSP 芯片,以及专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit, ASIC)或特殊用途的 DSP 芯片。其中通用单片机主要用于实现不太复杂的数字信号处理任务,如简单的数字控制。通用可编程器件主要用于实现计算密集型的高性能、单一固定数字信号处理功能,或用于实现数字信号处理算法的原型设计。ASIC 或特殊用途 DSP 芯片是专门针对特定应用需求设计的,应用范围有限,且开发周期较长。而通用 DSP 芯片作为通用的数字信号处理器,可通过编程满足不同应用需求,

为数字信号处理的应用打开了新的局面。

综上所述, DSP 包含两种含义: 一是代表 Digital Signal Processing, 是指数字信号处理技术, 包括其理论、实现和应用; 二是代表 Digital Signal Processor, 是指数字信号处理器, 即用于实现数字信号处理的微处理器。本书中若无特别说明, DSP 均指数字信号处理器。

1.1.2 DSP 的主要特点

与通用微处理器或微控制器相比, DSP 在数字信号处理领域具有无可比拟的优势, 原因在于其采取了许多措施提高数据处理速度与可靠性。DSP 的主要特点如下。

(1) 改进的哈佛结构

通用微处理器大多采用冯·诺依曼结构, 程序和数据存储空间作为整体统一编址, 共享地址和数据总线。因而处理器不能同时取指令和读/写操作数, 执行一条指令就需要几个甚至几十个机器周期。DSP 采用改进的哈佛结构和多总线结构, 独立的程序和数据存储空间, 各自拥有独立的地址和数据总线。因此 DSP 不仅可以同时取指令和读/写操作数, 而且可以在程序空间和数据空间相互传递数据, 从而提高了指令的执行速度。

(2) 流水线技术

为克服存储器访问速度对中央处理单元 (Central Processing Unit, CPU) 处理速度的限制, DSP 采用流水线技术提高其处理速度。如美国德州仪器 (TI) 的 C28x DSP 采用 8 级流水线, 即将每条指令的执行过程分为 8 个阶段, 每个阶段需要一个机器周期, 故一条指令的执行需要 8 个周期。但每个周期同时有 8 条指令激活, 分别处于流水线的不同阶段。这样流水线启动后, 每个周期均有指令执行, 仿佛一个周期完成一条指令。采用流水线处理不仅提高了处理速度, 而且可以使 CPU 工作在较低频率下, 以降低功耗。

(3) 专用的硬件乘法器和乘累加操作

数字信号处理的基本算法中需要大量的乘法和乘积累加操作。通用微控制器中乘法通过移位和加法运算实现, 速度较慢。DSP 芯片中具有专门的硬件乘法器, 用于实现乘法运算, 并可将乘积提供给累加器, 与其配合完成乘累加的操作。流水线启动后, DSP 的 MAC 指令可以在单周期实现乘累加的功能。

(4) 并行工作的多处理单元

DSP 具有可并行工作的多处理单元。除了算术逻辑单元 (Arithmetic Logic Unit, ALU) 和硬件乘法器, DSP 芯片内还设置了用于数据定标的硬件移位器, 以及用于间接寻址的辅助寄存器及其算术单元。寻址单元支持循环寻址、位倒序寻址, 故快速傅里叶变换 (Fast Fourier Transformation, FFT)、卷积等运算的寻址、排序与计算能力大大提高。多处理单元的并行操作, 使 DSP 能在相同时间内完成更多操作, 从而提高执行速度。

(5) 片内存储器和强大的硬件配置

DSP 片内集成了大量多种类型的程序和数据存储器, 对指令和数据的访问速度更快, 缓解了外部存储器访问的总线竞争和速度不匹配问题。同时, DSP 片内还集成了多个串行或并行 I/O 接口, 以及一些特殊功能接口, 用于完成特殊数据处理或控制任务, 以提高性能和降低成本。

(6) 特殊指令和不断提高的运算精度

为了更好地满足数字信号处理需求, DSP 设置了很多特殊指令。如单周期乘/加指令、可减少循环操作对 CPU 开销的单指令重复操作、程序/数据存储器中块移动、丰富的变址寻址

能力和基于 2 的 FFT 位倒序变址能力。

另外, DSP 的运算精度也在不断提高。其定点处理器的运算精度已从早期的 8 位逐步提高到 16 位、24 位、32 位。浮点处理器的出现, 提供了更大的动态范围和更高的运算精度。

1.2 DSP 的发展及应用

1.2.1 DSP 的发展

1. DSP 的发展概况

在 DSP 出现之前, 数字信号处理只能在微处理器上完成, 无法满足高速实时处理需求。20 世纪 70 年代, 出现了早期 DSP 解决方案, 即用分立元件组成的体积庞大的数字信号处理系统。但价格昂贵, 且需要高压供电, 故其应用仅限于军事和航空航天领域。

1978 年 AMI 公司 S2811 的出现标志着第一片 DSP 芯片的诞生。1979 年 Intel 公司推出的 2920 是第一片脱离了通用微处理器架构的商用可编程 DSP 芯片, 成为 DSP 发展过程的一个重要里程碑。S2811 和 Intel 2920 片内尚无单周期硬件乘法器。1980 年日本 NEC 公司推出的 μ PD7720 是第一片具有硬件乘法器的商用 DSP 芯片。1982 年美国德州仪器 (TI) 公司推出的 TMS32010 则是第一片现代 DSP 芯片, 它成本低廉、应用简单、功能强大, 标志着实时数字信号处理领域的重大突破。

随着 CMOS 技术的进步与发展, 第二代基于 CMOS 技术的 DSP 应运而生。1982 年日本 Hitachi 公司率先采用 CMOS 工艺生产浮点 DSP 芯片。1984 年 AT&T 公司推出了第一片高性能浮点 DSP 芯片 DSP32。

自 1980 年以来, DSP 芯片得到了突飞猛进的发展。20 世纪 80 年代后期, 第三代 DSP 芯片问世。90 年代相继出现了第四代和第五代 DSP 器件, 并一直延续至今。目前, DSP 芯片的应用越来越广泛, 并逐渐成为电子产品更新换代的决定因素。与 1980 年相比, DSP 的运算速度和处理能力大大提高 (如 MAC 时间降低到 10ns 以下), 乘法器占模片区下降到 5% 以下, 片内 RAM 数量增加一个数量级以上, 外部引脚数量增加到 200 个以上。

2. DSP 的发展趋势

目前, DSP 的功能越来越强, 甚至超过了微控制器的功能, 应用越来越广泛, 且价格更便宜。未来 DSP 面临的要求是处理速度更高、功能更多、功耗更低, 其发展趋势如下。

(1) 系统级集成 DSP 是潮流

缩小芯片尺寸始终是 DSP 的技术发展方向。当前 DSP 多基于精简指令集计算 (Reduced Instruction Set Computing, RISC) 结构, 具有高性能、低功耗、小尺寸的优点。各厂商纷纷采用新工艺, 改进 DSP 芯核, 并将多个 DSP 芯核、MPU 芯核、专用处理单元、外围电路、存储器集成在一个芯片上, 如 TI 公司的 TMS320C80 在一块芯片上集成了 4 个 DSP、一个 RISC 处理器、一个传输控制器、两个视频控制器, 可支持各种图像规格和各种算法。

(2) 更高性能和更低功耗

随着待处理数据量的飞速提高, 以及电子设备的个人化和客户化趋势, DSP 必须追求更高的运行速度, 才能跟上电子设备的更新步伐。未来 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据主导地位。同时由于 DSP 日益融入人们的日常工作和生活, 特别是便携式手持设备等使用电池

的产品,对于功耗的要求很高,所以 DSP 有待于通过降低内核电压和依靠新工艺改进芯片结构,进一步降低功耗。

(3) 面向高性能嵌入式应用的多核 DSP

多核 DSP 是面向高性能嵌入式应用的一类单芯片多处理器(Chip multiprocessors, CMP)。它在单个芯片内集成了多个 DSP 核和其他类型的处理器核。相对于单核 DSP,多核 DSP 具有更强的并行处理能力、更优的功耗管理、更方便的编程和调试,将成为高性能嵌入式应用的核心器件。如 TI 公司 2007 年推出的用于高密度核心网络的 TNETV3020,采用 6 个 DSP 内核、一个开关矩阵和多种串行 I/O 通道,可针对通道格式转换等要求进行设计。

(4) DSP 与微处理器和 FPGA 的融合

低成本的微处理器能很好地执行智能控制任务,但数字信号处理功能差;而 DSP 正好与之相反。目前许多应用中需同时具备智能控制和数字信号处理功能,如数字蜂窝电话同时需要监测和声音处理功能。因此,把 DSP 和微处理器结合起来,用单一芯片实现这两种功能,将加速产品开发,同时简化设计、减小 PCB 体积、降低功耗和整个系统的成本。互联网和多媒体应用需求将进一步加速这一融合过程。

将 FPGA 和 DSP 集成在一块芯片上,可实现宽带信号处理,大大提高信号处理速度。如 Xilinx 公司的 Virtex-II FPGA 可使 FFT 处理速度提高 30 倍以上,同时可在 FPGA 中集成一个或多个 Turbo 内核,以满足第三代 WCDMA 无线基站和手机等应用需求。Virtex-II FPGA 不仅功能强大,而且可缩短开发周期,易于增加功能且改善性能。因此在无线通信、多媒体等领域广泛应用。

(5) 可编程 DSP 和定点 DSP 是主流

可编程 DSP 允许生产商在同一款 DSP 平台上开发不同型号的系列产品,以满足不同用户的需求,又便于用户升级。虽然浮点 DSP 运算精度更高,动态范围更大,但定点 DSP 器件成本、功耗和对存储器的要求较低。故将二者结合是市场上的主流产品。

1.2.2 DSP 的典型应用

DSP 芯片高速发展,已在信号处理、通信、语音、图形/图像、军事、仪器仪表、自动控制、医疗、家用电器等诸多领域广泛应用。目前,其价格越来越低,性价比日益提高,具有巨大的应用潜力。无线应用和嵌入式应用为 DSP 市场提供了广阔的舞台。

目前, DSP 主要应用在计算机、通信和消费电子产品(Computer, Communication and Consumer Electronics, 3C)领域,占整个市场需求的 90%。在通信领域,数字蜂窝电话是最重要的应用领域之一。强大的计算能力为移动蜂窝电话注入了新的活力,并创造了一批诸如 GSM、CDMA 等全数字蜂窝电话网。DSP 应用于 Modem 器件中,不仅大幅度提高了传输速率,而且可接收动态图像。在计算机领域,可编程多媒体 DSP 已成为的主流产品,可定制 DSP(CDSP)推动着硬盘空间的不断扩大;以 xDSL Modem 为代表的高速通信技术与动态图像专家组(Moving Pictures Experts Group, MPEG)图像技术相结合,使高品质音频和视频计算机数据的实时交换成为可能。预计未来个人计算机中,使用一片 DSP 即可完成全部多媒体处理功能。由于 DSP 的广泛应用,数字音响设备的更新换代周期越来越短。在图像处理领域,已经出现了分别针对静态图像处理和动态图像处理的不同 DSP 芯片。

此外,原本基于单片机的家电、系统控制等应用领域目前也越来越多地采用 DSP 器件,以增强产品的功能和性能。在家电应用中,从洗衣机到电冰箱,电动机的转速直接影响着设

备的能量消耗。基于 DSP 的电机控制系统可提供快速准确的脉宽调制和多种电机参数（如电流、电压、速度、温度等）的快速精确反馈，从而促进了先进电机驱动系统的发展。如采用低成本 DSP 控制变速压缩机，可显著提高制冷压缩机的能效。洗衣机采用 DSP 实现变速控制，可消除对机械传动装置的需求。DSP 还为这些设备提供无传感器控制，无需速度和电流传感器，以实现更高的转速，更小的噪声和振动。在加热、通风和空气调节（HVAC）系统的送风机和导风叶轮的变速控制中采用 DSP，则可提高效率，改善舒适度。

1.3 DSP 应用系统及其设计开发

1.3.1 DSP 应用系统的构成

典型 DSP 应用系统构成如图 1.1 所示，主要包括输入信号源、模拟信号处理（ASP）、模拟/数字转换（ADC）、数字信号处理（DSP）、数字/模拟转换（DAC）、输出执行机构等环节。

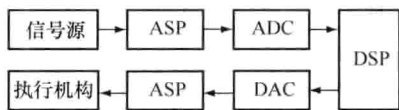


图 1.1 典型 DSP 应用系统构成

注：图 1.1 为 DSP 应用系统典型结构，并非所有 DSP 应用系统均需具备所有环节。

图 1.1 中，输入信号源是产生信号的物体，如麦克风、传感器等。其信号可为温度、压力、湿度、位置、速度、流量、声、光等各种形式。ASP 用于对某些原始信号进行放大或滤波等信号处理。原始信号经 ASP 进行放大、带限滤波和抽样后送 ADC。ADC 将 ASP 处理后的模拟信号转换成数字信号，由 DSP 按实际需求进行各种数字信号处理。处理后的数字信号再经 DAC 转换成模拟信号，由 ASP 进行内插和平滑滤波等处理后，将模拟信号送执行机构。

1.3.2 DSP 应用系统的设计方法

DSP 应用系统的设计过程如图 1.2 所示，一般包括需求分析、系统结构设计、软/硬件设计、系统集成及测试等阶段。

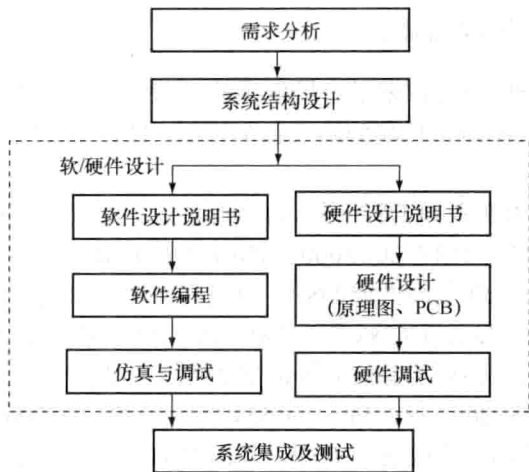


图 1.2 DSP 应用系统设计流程

需求分析阶段,按用户对应用系统的要求,提出系统级技术要求和相关说明,写出任务说明书,确定要实现的技术指标,同时要解决信号处理(如输入、输出特性分析,数字信号处理算法的确定,以及使用快速原型和硬件开发系统对性能指标的仿真和验证)和非信号处理(如应用环境、设备的可靠性指标和可维护性、功耗、体积、重量、成本、性价比等)两方面的问题。

系统结构设计阶段,确定信号处理单元和信号交互单元架构。然后根据系统指标要求选择 DSP 芯片,并为之设计相关外围电路和其他电路。另外还要进行系统的软/硬件分工,确定哪些功能由硬件实现,哪些功能由软件实现。

软/硬件设计阶段,硬件设计主要包括系统分析和系统综合两个阶段。前一阶段主要完成硬件方案的确定和器件选型;后一阶段主要完成原理图设计、印制电路板(PCB图)设计、硬件制作和调试。软件设计可采用 DSP 汇编或 C/C++编程,然后调用代码产生工具生成可执行代码,进行仿真与调试。

系统集成及测试阶段,把系统的各部分集成为一个整体,进行运行测试。若不能满足需求,需要对软件和硬件进行修改。

1.4 典型 DSP 简介

1.4.1 市场上 DSP 概况

目前市场上的 DSP 芯片有 300 多种,其中定点的 200 多种,浮点的 100 多种。DSP 的主要厂商有美国 TI、ADI、Motorola、Zilog 等公司,其中 TI 占有全球 DSP 市场的 60%。TI 公司的 TMS320 系列 DSP 包括用于控制领域的 C2000 系列,移动通信的 C5000 系列,以及应用于网络、多媒体和图像处理的 C6000 系列。

目前,我国的 DSP 芯片市场被众多国外厂商占领,TI、Motorola、Lucent、ZSP、AD、NEC 等公司均不同程度地和国内有关企业及教育机构建立了联系。国内 DSP 的应用已有一定基础,但目前重要的 DSP 应用产品,如手机、调制解调器、硬盘驱动器等个人计算机与通信领域应用产品,均采用国际大公司的 DSP 方案。

1.4.2 TI 的 DSP 处理器概况

目前,TI 公司的 DSP 芯片占据了市场份额的半壁江山。其产品包括定点、浮点和多处理器 DSP 系列,应用范围涵盖了低端到高端各个领域。TI 的 DSP 芯片以 TMS320 作为前缀,其命名方法如图 1.3 所示。

总体上,TI 的 TMS320 系列 DSP 可分为定点系列、浮点系列和多处理器系列。目前应用最广的有 TMS320C2000、TMS320C5000、TMS320C6000 三个系列。

TMS320C6000 系列是 32 位高性能 DSP,面向高性能、多功能、复杂高端应用领域,主要包括 TMS320C62xx、C64xx、C67xx 等。TMS320C 5000 系列是 16 位定点、低功耗 DSP,面向低功耗、手持设备、无线终端应用等消费类数字市场,具有超低功耗(待机功率为 0.15mW),主要包括 TMS320C54x、54xx、C55x 等。TMS320C2000 系列面向数字控制、运动控制。目前应用的是其第二代改进型 DSP,片内增加了经过优化的、用于数字控制系统的外设电路,可大幅提高效率和降低功耗,是最佳控制平台,也称 DSP 控制器。

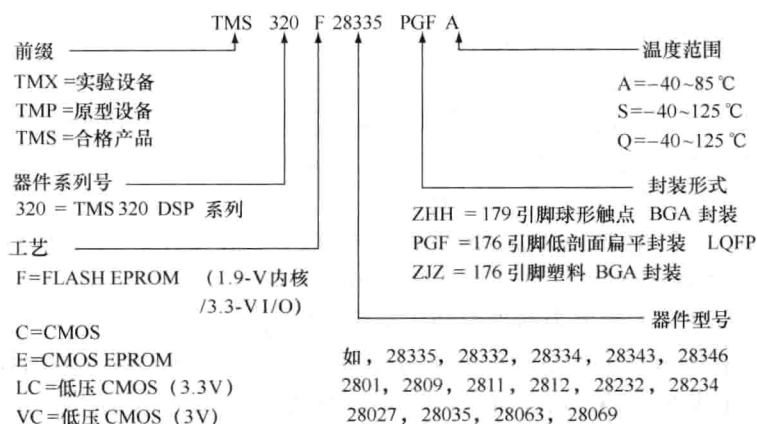


图 1.3 TMS320 系列产品命名方法

1.4.3 TMS320C2000 系列 DSP 控制器

TMS320C2000 系列 DSP 控制器集 DSP 内核和控制外设于一体, 既具有数字信号处理能力, 又具备强大的嵌入式控制功能, 非常适合用于数字电源(如开关电源、不间断电源、AC/DC 整流器、DC-DC 模块等)、数字电机控制(如变速驱动器、伺服驱动器、家电用电机、压缩机和鼓风机、工业用泵类等)、可再生能源(如太阳能逆变器、风力发电逆变器、深循环电池管理、水力发电、大型电网等)、电力线通信(如太阳能、计量、镇流器、安全门检/安全监控系统等)、照明(如工业及商业照明、建筑照明、街道照明、舞台照明、汽车照明、大型基础设施照明、智能照明等)。

目前 TMS320C2000 的主流芯片是 32 位的, 可分为 4 个子系列: 定点系列、Delfino 高性能浮点系列、Piccolo 小封装系列, 以及集连接与控制于一身的 Concerto 系列。其中前 3 个子系列为基本系列。

1. 32 位定点系列 DSP 控制器

32 位定点 DSP 控制器主要包括 TMS320x280x、TMS320x281x 和 TMS320F282xx 三个系列。

TMS320x281x (包含 FLASH 版本的 F2810、F2811、F2812 和 ROM 版本的 C2810、C2811、C2812) 是在 TMS320x240x 的基础上升级、增强而来的 32 位微控制器, 如其典型芯片 TMS320F2812 的片内外设和部分功能与 TS320LF2407 兼容。其中 TMS320F281x 具有高达 128KB 的 FLASH 和 150MIPS 的性能。

TMS320F282xx (包含 F28232、F28234 和 F28235 共 3 款芯片) 在 TMS320F281x 的基础上增加了更多的外设和存储器资源(如增加了 DMA、高精度 PWM 等外设; RAM、定时器、GPIO, 以及一些通信接口的数量也有所增加)。

与 TMS320x281x 相比, TMS320x280x 系列(包含 FLASH 版本的 F28015、F28016、F2801-60、F2802-60、F2801、F2802、F28044、F2806、F2808、F2809 和 ROM 版本的 C2801、C2802 等 12 款芯片) 外设功能增强且极具价格优势, 具有 100MIPS 的性能。所有产品引脚兼容, 采用 100 引脚封装。该系列最大特色是增强了事件管理器的功能, 将其分解为增强 PWM、增强捕获单元和增强正交编码器脉冲电路, 具有高精度 PWM 模块, 一些通信接口的

数量也有所增加。

2. Delfino 高性能浮点系列 DSP 控制器

TMS320x283xx 在 32 位定点 CPU 内核 (C28x) 的基础上, 增加了一个单精度 32 位 IEEE-754 浮点处理单元 (PFU), 浮点协处理器的速度可达 300MFLOPS。TMS320x283xx 又分为 TMS320F2833x (包含 F28332、F28334 和 F28335) 和 TMS320C2834x (包含 C28341、C28342、C28343、C28344、C28345 和 C28346 这 6 款芯片) 两个系列, 后者在前者的基础上工作频率增加了 (如 TMS320C28346 工作频率可高达 300MHz, 比 TMS320F28335 增加了 1 倍), 但是无 FLASH 存储器, 取而代之的是相当数量的 RAM。

Delfino 系列 DSP 控制器为高性能的实时控制应用提供了浮点性能与高集成度, 大大提高了高端实时控制应用实现方案的智能化与效率。该系列支持高达 300MHz 的速度、高达 512KB 的 FLASH 或 516KB 的 RAM、高分辨率 PWM、每秒 12.5MB 采样速率的 ADC 或外部 ADC 接口, 以及众多的通信接口。Delfino 系列具有高性能内核、控制优化型外设及可扩展的开发平台, 能够有效降低系统成本、提高系统可靠性和性能, 适用于工业电源电子产品、配电、可再生能源和智能控制等应用场合。

3. Piccolo 小封装系列 DSP 控制器

TMS320F2802x/F2803x/2806x Piccolo 系列是 TI 新近推出的 32 位控制器。它体现了小封装与高性能的最佳结合, 提供了低成本的高集成度解决方案。Piccolo 系列可提供多种封装版本和外设选项, 实现了高性能、高集成度、小尺寸, 以及低成本的完美组合。Piccolo 处理器支持高达 80 MHz 的速度和高达 256KB 的 FLASH、专用的高分辨率 PWM、功能强大的 ADC、模拟比较器及成本敏感型混合信号器件中的通信接口。部分 Piccolo 器件提供浮点支持 (如 F2806x 包括一个浮点处理单元)。浮点协处理器 (或称“控制律加速器”CLA) 可独立访问反馈与前馈外设, 能够提供并行控制环路, 以强化主 CPU。由于增加了一个 Verterbi 复数数学单元 (VCU), 因而可实现 PLC 应用, 并进一步提高复数数学处理速度。

Piccolo 系列目前主要包括 3 个子系列: TMS320F2802x (包含 F280200、F28020、……、F28026 和 F28027 等 7 款芯片), TMS320F2803x (包含 F28030、F28031、……、F28035 等 6 款芯片), TMS320F2806x (包含 F28062、F28063、……、F28068、F28069 等 8 款芯片)。其最低端芯片的价格不到 2 美元 (如 TMS320F280200 芯片 2011 年的建议零售价仅为 1.85~2.01 美元)。

4. Concerto 系列 DSP 控制器

Concerto F28M35x 系列将 ARM CortexM3 内核与 C2000 的 C28x 内核整合在一个器件中, 使太阳能逆变器和工业控制等应用能够在保持单芯片解决方案的同时, 保持通信和控制处理彼此隔离。Concerto 系列支持高达 150MHz 的工作频率 (在面向控制的 C28x 内核中) 和高达 100MHz 的工作频率 (在面向通信的 ARM Cortex-M3 内核上)。内存选项包括高达 1MB 闪存和 132KB RAM。通信接口则包括以太网、USB、CAN、I²C、SPI、SCI 和 McBSP。该系列可降低系统成本, 获得安全性认证, 并实现实时控制与通信的完美结合。

TMS320C2000 的 32 位 DSP 控制器的 3 个基本系列中, Delfino 浮点系列能够执行复杂的浮点运算, 节省存储空间和代码执行时间, 具有精度高、成本和功耗低、外设集成度高等优点, 为嵌入式工业控制提供了优秀的性能和简单的软件设计。因此, 本书以该系列的典型芯片 TMS320F28335 为对象介绍 DSP 控制器的原理与应用技术。

