DSP技术及其应用
——浮点SHARC系列

电子工程学院
主讲：冯小平 教授
罗勇江

DSP INTRODUCTION

课程安排

计划学时数：30学时
课程性质：任选/必修
理论课部分：14学时
实验部分：16学时
实验地点：校电工电子教学基地
ADSP实验室（主楼II区2层中厅西侧）

DSP INTRODUCTION

数字信号处理器理论课部分

第1章　数字信号处理器技术综述
第2章　ADSP2106X系列DSP的结构与功能
第3章　ADSP2106X系列DSP的指令系统
第4章　ADSP2106X系列DSP的程序设计
第5章　ADSP2106X开发环境
第6章　ADSP-21065L EZ-KIT　电路板介绍
第7章　ADSP实验方法和内容

第1章　概述

1.1　数字信号处理器的基本概念
1.2　数字信号处理器的特点
1.3　数字信号处理器的发展历史
1.4　数字信号处理器的应用领域
1.5　ADI公司的DSP系列简介

1.1 数字信号处理器

数字信号处理器（Digital Signal Processor，简称DSP）是一种专门用来实现各种信号处理的微处理器。根据使用方法的不同，DSP可以分成：

- 专用的DSP：

  专用的DSP是用来实现某些特定的信号处理功能，如数字滤波、FFT等。它不需要编程，使用方便、处理速度快，但是缺乏灵活性。

- 通用的DSP：

  通用DSP则有完整的指令系统，通过编程来实现各种信号处理功能。

- 应用需求
  - DSP主要是为了满足通信、雷达、数字电视、软件无线电等领域对数字信号处理的需要。
- DSP的特点
  - 数学计算密集应用：如典型的数字信号处理算法包括FFT、数字滤波等，其特点就是数学计算密集。DSP在其体系结构上采取了一系列措施，使其在数学计算方面具有优越的性能。
  - 实时计算：在通信领域的调制和解调、雷达中的信号检测中，必须在若干微秒至毫秒内完成数据处理，并且给出运算结果，这就是所谓实时处理

1.2 数字信号处理器的特点

数字信号处理相对于模拟信号处理有很大的优越性，表现在精度高、灵活性大、可靠性好、易于大规模集成等方面。

数字信号处理有别于普通的科学计算与分析，它强调运算处理的实时性，因此DSP除了具备普通微处理器所强调的高速运算和控制功能外，针对实时数字信号处理，在处理器结构、指令系统、指令流程上具有许多新的特征，其特点如下：

（1）运算单元

❖具有硬件乘法器和多功能运算单元：

- 硬件乘法器可以在单个指令周期内完成乘法操作，这是DSP区别于通用的微处理器的一个重要标志
- 多功能运算单元可以完成加减、逻辑、移位、数据传送等操作
- 新一代的DSP内部甚至还包含多个并行的运算单元。以提高其处理能力。

❖运算单元的特点：

- 针对滤波、相关、矩阵运算等需要大量乘和累加运算的特点，DSP的算术单元的乘法器和加法器，可以在一个时钟周期内可以完成相乘、累加两个运算。近年出现的某些DSP如ADSP2106X、DSP96000系列DSP可以同时进行乘、加、减运算，大大加快了FFT的蝶形运算速度。

（2）总线结构

- 传统的通用处理器结构
  - 采用统一的程序和数据空间、共享的程序和数据总线结构，即所谓的冯·诺依曼结构。
- DSP结构
  - 普遍采用了数据总线和程序总线分离的哈佛结构或者改进的哈佛结构，极大的提高了指令执行速度。片内的多套总线可以同时进行取指令和多个数据存取操作，许多DSP带有DMA通道控制器，配合片内多总线结构，数据块传送速度大大提高。
  - 如TI公司的C6000系列的DSP采用改进的哈佛结构，内部有一套256位的程序总线、两套32位的数据总线和一套32位的DMA总线。ADI公司的SHARC系列DSP采用超级哈佛结构（Super Harvared Architecture Computer），内部集成了三套总线，即程序存储器总线、数据存储器总线和输入输出总线。

（3）专用寻址单元

DSP面向数据密集型应用，伴随着频繁的数据访问，数据地址的计算也需要大量时间。DSP内部配置了专用的寻址单元，用于地址的修改和更新，它们可以在寻址访问前或访问后自动修改内容，以指向下一个要访问的地址。地址的修改和更新与算术单元并行工作，不需要额外的时间。

DSP的地址产生器支持直接寻址、间接寻址操作，大部分DSP还支持位反转寻址（用于FFT算法）和循环寻址（用于数字滤波算法）。

（4） 片内存储器

- 针对数字信号处理的数据密集运算的需要，DSP对程序和数据访问的时间要求很高，为了减小指令和数据的传输时间，其内部集成有程序存储器和数据存储器，以提高程序和数据的访问速度。
  - 如TI公司的C6000系列的DSP内部集成有1M～7M位的程序和数据RAM;
  - ADI公司的SHARC系列DSP内部集成有0.5M～2M位的程序和数据RAM，Tiger SHARC系列DSP内部集成有4M～24M位的程序和数据RAM。

（5） 流水处理技术

- DSP大多采用流水技术，即将一条指令的执行过程分解成取指、译码、取数、执行等若干个阶段，每个阶段称为一级流水。
- 每条指令都由片内多个功能单元分别完成取指、译码、取数、执行等操作，从而在不提高时钟频率的条件下减少了每条指令的执行时间。

（6） DSP与其它处理器的差别

- 数字信号处理器（DSP）、通用微处理器（MPU）、微控制器（MCU）的区别在于:
  - DSP面向高性能、重复性、数值运算密集型的实时处理;
  - MPU大量应用于计算机;
  - MCU则适用于以控制为主的处理过程。

（6） DSP与其它处理器的差别（续）

- DSP的运算速度比其它处理器要高得多，以FFT、相关为例，高性能DSP不仅处理速度是MPU的 4～10倍，而且可以连续不断地完成数据的实时输入／输出。DSP结构相对单一，普遍采用汇编语言编程，其任务完成时间的可预测性相对于结构和指令复杂（超标量指令）、严重依赖于编译系统的MPU强得多。
- 以一个FIR滤波器实现为例，每输入一个数据，对应每阶滤波器系数需要一次乘、一次加、一次取指、二次取数，有时还需要专门的数据移动操作，DSP可以单周期完成乘加并行操作以及3～4次数据存取操作，而普通MPU至少需要4个指令周期，因此，在相同的指令周期和片内指令缓存条件下，DSP是MPU运算速度的4倍以上。
- 正是基于DSP的这些优势，在新推出的高性能通用微处理器（如Pentium、Power PC 604e等）片内已经融入了DSP的功能，而以这种通用微处理器构成的计算机在网络通信、语音图像处理、实时数据分析等方面的效率大大提高。

1.3 数字信号处理器的发展历史

自1982年第一片数字信号处理器TMS320C10产生以来，DSP发展大致经历了四个阶段，也形成了目前DSP产品的四代产品。

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，完成乘累加运算时间为390ns，处理速度较慢。

2. 第二代DSP

1987年Motorola公司推出了DSP56001，它是24位定点DSP，完成乘累加运算时间为75ns，其它产品如AT&T公司的DSP16A，ADI公司的ADSP－2100，TI公司的TMS320C50等。代表了第二代DSP产品。

3. 第三代DSP

1995年出现了第三代定点DSP产品，如Motorola公司的DSP56301,ADI公司的ADSP－2180，TI公司的TMS320C541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20ns左右。同期出现了功能更强的32位浮点处理的DSP，如Motorola公司的DSP56000，TI公司的TMS320C3X，ADI公司的ADSP－21020等。

4. 第四代DSP

最近几年推出了性能更高的第四代处理器，包括并行DSP和超高性能DSP，如ADI公司的32位浮点处理器ADSP2106X、TI公司的TMS320C4X等，以及近两年TI公司推出的并行处理定点系列TMS320C62XX、浮点系列TMS320C67XX，的并行处理浮点系列ADSP21160、ADSP-TS101S、ADSP201S等。

目前DSP生产厂家中最有影响的是TI公司、ADI公司、AT&T公司和Motorola公司。其中TI公司和ADI公司的产品系列最全，市场占有率最高。

定点和浮点DSP的特点

❖DSP处理器有定点处理和浮点处理两大类，适用于不同场合

- 定点处理DSP
  - 早期的定点处理DSP可以胜任大多数数字信号处理应用，但其可处理的数据的动态范围有限，如16 bit定点 DSP动态范围仅 96 dB。在某些数据的动态范围很大的场合，按定点处理可能会发生数据溢出，在编程时需要使用移位定标措施或者用定点指令模拟浮点运算，使程序执行速度大大降低。
- 浮点处理器
  - 浮点处理器的出现解决了这些问题，它拓展了数据动态范围。浮点DSP的综合性能优于定点DSP，在相同的指令周期内，它既可以完成32位定点运算，也可以完成浮点运算。而且其汇编源程序容易编写、可读性好、调试方便。

DSP的处理能力

❖随着集成电路技术的进步，DSP处理器的运算能力不断提高

- 早期的5MIPS（百万条指令/秒）
- 目前已经发展到达1GFLOPS（千兆次浮点运算/秒）以上

  如TI公司的TMS320C6201和TMS320C6701处理能力达到1GFLOPS、ADI公司的ADSPTDS101S到达2GFLOPS。

❖某些信号处理应用要求的处理能力

- 达到每秒几百亿、上千亿次运算。
  - 这可以通过提高DSP主频或者通过并行处理来满足，提高主频所遇到的难度和付出的成本越来越大，单处理器性能的提高受到许多因素的限制。
  - DSP处理器具有多处理器扩展接口，可以方便的实现多处理器并行处理结构，如TI公司的TMS320C4X，ADI公司的ADS-21060等
  - 新型DSP内部引入了并行处理技术，以满足处理速度的要求

  如TI公司的TMS320C6201和TMS320C6701、ADI公司的ADSPTDS101S,ADSPTS201S等。

1．4 数字信号处理器的应用领域

随着DSP性能的迅速提高和成本价格的大幅度下降，DSP的应用范围不断扩大，成为当前产量和销售量增长最快的电子产品之一。DSP应用几乎遍及整个电子领域，常见的典型应用有:

1. 通用数字信号处理

数字滤波、卷积、相关、FFT、希尔伯特变换、自适应滤波、窗函数、波形发生等。

2. 通信

高速调制解调器、编／译码器、自适应均衡器、传真、程控交换机、蜂房移动电话、数字基站、数字留言机、回音消除、噪声抑制、电视会议、保密通信、卫星通信、TDMA／FDMA／CDMA等各种通信制式。随着互联网络的迅猛发展，DSP又在网络管理／服务、信息转发、IP电话等新领域扮演着重要角色，而软件无线电的提出和发展进一步增强了DSP在无线通信领域的作用。

数字信号处理器的应用领域（续）

3. 语音处理

语音识别、合成、矢量编码、语音信箱。

4. 图形／图像处理

三维图像变换、模式识别、图像增强、动画、电子出版、电子地图等。

5. 自动控制

磁盘、光盘、打印机伺服控制、发动机控制、电机驱动等。

6. 仪器仪表

测量数据谱分析、自动监测及分析、暂态分析、勘探、模拟试验。

7. 医学电子

助听器、CT扫描、超声波、心脑电图、核磁共振、医疗监护等。

数字信号处理器的应用领域（续）

8. 军事与尖端科技

雷达和声纳信号处理、雷达成像、自适应波束合成、阵列天线信号处理、导弹制导、火控系统、战场C^3I系统、导航、全球定位GPS、目标搜索跟踪、尖端武器试验、航空航天试验、宇宙飞船、侦察卫星。

9. 计算机与工作站

阵列处理机、计算加速卡、图形加速卡、多媒体计算机。

10. 消费电子

数字电视、高清晰度电视、图像／声音压缩解压器、VCD／DVDCD播放机、电子玩具、游戏机、数字留言／应答机、汽车电子装置、音响合成、住宅电子安全系统、家电电脑控制装置。

1.5 ADI公司的DSP系列简介

ADI公司提供了完整DSP系列，适合于各种信号处理的需要。

- ❖16位的定点DSP产品
  - ADSP-21xx系列
  - Blackfin DSP ADSP-215xx系列
- ❖32位的浮点DSP产品
  - SHARC系列
  - TigerSHARC系列
- ❖混合信号处理DSP产品
  - ADSP-2199X系列
- ❖嵌入式电机控制DSP系列
  - ADMC系列等

系列	型号	处理器类型	处理能力	片内存储器（字）	电源电压	ADC
Black fin	ADSP-21535P	16位定点	600MMACs	154K	1.5V	
	ADSP-21532S	16位定点	600MMACs	58K	2.25-3.6V	
ADSP-21xx	ADSP-2191M	16位定点	160MMACs	32K＋32K	2.5V	
	ADSP-2195M	16位定点	160MMACs	32K＋16K	2.5V	
	ADSP-2196M	16位定点	160MMACs	24K＋8K	2.5V	
	ADSP-2188N	16位定点	80MMACs	48K＋56K	1.8V	
	ADSP-2189N	16位定点	80MMACs	32K＋48K	1.8V	
	ADSP-2187N	16位定点	80MMACs	32K＋32K	1.8V	
	ADSP-2185N	16位定点	80MMACs	16K＋16K	1.8V	
	ADSP-2186N	16位定点	80MMACs	8K＋8K	1.8V	
	ADSP-2184N	16位定点	80MMACs	4K＋4K	1.8V	
	ADSP-2188M	16位定点	75MMACs	48K＋56K	2.5V	
	ADSP-2189M	16位定点	75MMACs	32K＋48K	2.5V	

	ADSP-2185M	16位定点	75MMACs	16K＋16K	2.5V	
	ADSP-2186M	16位定点	75MMACs	8K＋8K	2.5V	
SHARC	ADSP-21161N	32位浮点	600MLOPs	1 Mbits	1.8/3.3V	
	ADSP-21160M	32位浮点	480MLOPs	4 Mbits	2.5/3.3V	
	ADSP-21160N	32位浮点	570MLOPs	4 Mbits	1.9/3.3V	
	ADSP-21060	32位浮点	198MLOPs	4 Kbits	3.3V/5V	
	ADSP-21065L	32位浮点	198MLOPs	544 Kbits	3.3V	
Tiger	ADSP-TS101S	32位浮点	1500MLOP	6 Mbits	1.2/3.3V	
	ADSP-TS201S	32位浮点	3GFLOPS	24 Mbit	1.0V/2.5V	
SHARC	ADSP-21990	16位定点	160MIPs	4K+4K		14bit20MpS
混合	ADSP-21991	16位定点	160 MIPs	8K+32K		14bit20MSPS
信号	ADMC401	16位定点	26 MIPs	2K+1K		8通道12bit
	ADMC32x	16位定点	20 MIPs	0.5K+0.5K		可变
电机	ADMCF32x	16位定点	20 MIPs	0.5K+0.5K		可变
控制	ADMC341/F341	16位定点	20 MIPs	0.5K+0.5K		6通道10bit

DSP INTRODUCTION

ADI公司的主要DSP完成常用的各种数字信号处理算法的时间

型号	时钟频率	FIR滤波器(每阶)	IIR滤波器	1024点复FFT	平方根的倒数	除法
ADSP21535	300MHz			46s		
ADSP219X	160MHz			302s		119ns
ADSP218X	80MHz			465s		238ns
ADSP21161N	100MHz		20ns	0.09ms	90ns	60ns
ADSP21060	40MHz	5ns	100ns	0.46ms	225ns	150ns
ADSP21062	40MHz	25ns	100ns	0.46ms	225ns	150ns
ADSP21065L	66MHz	25ns	60ns	0.27ms	135ns	90ns
ADSPTS101S	250MHz	15ns		39.34us		
ADSPTS201S	600MHz	0.83ns		15.7us		

DSP INTRODUCTION

ADSP部分芯片相片