

## 教材及参考书

- (1) TMS320LF240XDSP硬件开发教程, 江思敏, 机械工业出版社。
- (2) TMS320LF240XDSP应用程序设计教程, 清源科技, 机械工业出版社。
- (3) TMS320C2000系列DSP原理及应用, 张卫宁, 国防工业出版社
- (4) DSP技术的发展与应用, 彭启宗, 高等教育出版社.
- (5) 数字信号处理器技术原理与开发应用, 王军宁, 高等教育出版社。

## 绪论 数字信号处理器(DSP)综述

### 0.1 什么是数字信号处理器

**数字信号处理** (Digital Signal Processing): 信号的数字化和数字处理。

**数字信号处理器**——DSP。

过去受集成电路技术和数字化器件发展水平限制，只限于理论概念的讲授和仿真。

**早期**— 在计算机上仿真，算法实现。

**现在**— 在DSP上实时处理

国内常用DSP一词来指数字信号处理器。

**DSP最典型的应用——手机**，可见DSP的应用市场之大。

在世界众多的DSP厂商中，**德州仪器（TI）**的DSP始终占有较大的市场份额（百分之60）。

全球每10部手机中就有6部采用TI的DSP，每10部手机中就有8部嵌进TI公司的模拟芯片。

**PC时代的领袖——Intel**

**信息时代的领袖——TI**

**2000年诺贝尔物理奖——TI公司杰克-基尔比**

## **0.2 DSP与通用计算机、单片机的区别**

数字信号处理的**运算特点**：**乘/加**，及**反复相乘求和**  
(乘积累加)

早期的计算机或微处理器的内部乘法运算是靠加法器反复移位相加实现的，需要数十个时钟周期。

而DSP设置了硬件乘法/累加器，能在单个指令周期内完成乘/加运算。

为满足FFT、卷积等数字信号处理的特殊要求，目前DSP大多在指令系统中设置了“循环寻址”及“位倒序”寻址指令和其他特殊指令，使得寻址、排序的速度大大提高。

1024点复数FFT所需时间：微秒量级。

高速数据的传输能力是高速实时处理的关键之一。

- (1) 新型的DSP设置了单独的DMA总线及其控制器，在不影响或基本不影响DSP处理速度的情况下，做并行的数据传送，传送速率可达每秒百兆字节。

(2) DSP还在指令并行、功能单元并行、多总线、时钟频率提高等方面不断创新和改进。

(3) DSP是专为数字信号处理所设计的。与PC机相比，体积小、成本低。且易于开发，易于实现嵌入式和便携式应用。

所以，DSP在内部功能单元并行、多DSP核并行、多总线、功耗小方面尤为突出；

通用微机（PC机）、单片机不适于用在高速数字信号处理领域中。

**通用计算机（PC机）：**

在大容量内存、大规模多级高速缓存、极高的主频和复杂的管理调度算法方面表现明显。

**例如，奔腾PC机，目前主频已达3.2GHz，主内存1GB。它将许多大中型计算机上出现的技术应用到了芯片内部。**

**采用：**

**(1) 超标量流水线结构**

**(2) 层次化多级高速缓存**

**(3) 实现动态执行技术和分支预测功能，大大提高指令运行的并行度，使奔腾PC机的运行速度大大提高。**

PC机的设计目的:

- (1) “通用”计算，方便使用，所以，它有大容量内存、复杂的指令集和操作系统。
- (2) 体系结构对特殊类型的数据结构只能提供通用的寻址操作，而DSP有专门的简捷寻址机构和辅助硬件来快速完成。

PC机通常不能高效地完成许多基本的数字处理运算。

例如，乘法累加，矢量旋转，三角函数等。

许多DSP有很好的并行性，但在单处理机系统中不能有效地利用，例如神经网络、基本神经元。

**单片机：**

- (1) 为低成本控制领域而设计和开发的。位控能力强，I/O接口种类繁多，在片上外设和控制功能丰富、价格低、使用方便占有一定的优势，但处理速度较慢。
- (2) DSP具有高速并行结构及指令，而单片机没有。DSP处理的算法的复杂度和大的数据处理流量更是单片机不可企及的。

三者各有所长，技术的发展使得DSP、通用计算机、单片机相互借鉴对方的优点，互相取长补短。

现在，PC机及部分单片机内部都有**硬件乘法器**

单片机内部也有了通用计算机和DSP内部才有的**流水线作业**（但规模小些）

而DSP内部也有了一定规模的**高速缓存**。

吸收Intel的嵌入式系统芯片和系统软件的优点。有的DSP内部集成了高速运行的DSP内核及控制功能丰富的嵌入式处理器内核。例如，内部集成有TI公司的C54xCPU内核和ARM公司的ARM7TDMI E内核的DSP，既具有高速的数据处理能力，又有各种类型的外设

接口和位控能力，大大拓宽DSP在控制领域的应用。  
DSP在注重高速的同时，也在发展自己的低价位控制芯片。

美国Cygna I公司的C8051F020 8位单片机，内部采用流水线结构，大部分指令的完成时间为1或2个时钟周期，峰值处理能力为25MIPS。片上集成有8通道A/D，两路D/A，两路电压比较器，内置温度传感器、定时器、可编程数字交叉开关和64个通用I/O口、电源监测、看门狗、多种类型的串行总线（两个UART、SPI等）。

## 0.3 DSP 芯片分类

### 0.3.1 三种方式分类

按以下三种分类：

#### 1. 按基础特性分

按工作时钟和指令类型分类。

**静态DSP芯片：**在某时钟频率范围内的任何时钟频率上，DSP都能正常工作，除计算速度的变化外，性能上没有下降。

**一致性芯片：**两种或两种以上的DSP芯片，它们的指令集和相应的引脚结构相互兼容。

#### 2. 按数据格式分

定点和浮点之分。

定点：TMS320C2XX/C5X, TMS320C54X/C62XX等系列。

浮点：TMS320C3X/C4X。

不同的DSP的浮点格式不一定完全一样，如IEEE的标准浮点格式（摩托罗拉的MC96002），自定义的浮点格式（TMS320C3X）。

### 3.按用途分

#### 通用型和专用型

**通用型：**适合普通的DSP应用

**专用型：**为特定的DSP运算而设计，如数字卷积、数字滤波、FFT等。

## 0.3.2 DSP的应用

自20世纪70年代末诞生，得到飞速发展。已广泛应用，价格越来越低。

### 主要应用:

(1) **信号处理:** 数字滤波，自适应滤波，FFT，相关运算，谱分析，卷积，模式匹配，加密，波形产生

(2) **电机和机器人控制:** 在单片内集成多个DSP处理器，可采用先进的神经网络和模糊逻辑控制等人工智能算法。

机器人智能的视觉、听觉和四肢的灵活运动必须有DSP技术支持才能实时实现。

(3) **激光打印机、扫描仪和复印机:** DSP不仅仅是控制，还有繁重的数字信号处理任务，如字符识别、

图像增强、色彩调整等。

**(4) 网络控制及传输设备：**网络功能和性能的不断  
提高，如视频信箱、交互式电视等，要求更宽、更  
灵活的传输带宽，实时传输和处理数据的网络控制  
器、网络服务器和网关都需要DSP的支持。

**(5) 通讯：**调制解调器,自适应均衡,数据加密,数据压  
缩,扩频通信,纠错编码,传真,可视电话。

**(6) 语音处理：**语音编码,语音合成,语音识别,语音邮  
件,语音存储。

**(7) 自动测试诊断及仪器仪表、虚拟仪器：**现  
代电子系统设备中，有近百分之六十的设备及资金  
是用于测试设备，自动测试设备集高速数据采集、  
传输、存储、实时处理于一体，又一广阔应用领域。

**(8) 图像处理:** 二维三维图形处理, 图像压缩、传输与增强, 动画, 机器人视觉, 模式识别。

**(9) 军事:** 保密通信, 雷达处理, 导航, 导弹制导。

如机载空-空导弹, 在有限的体积内装有红外探测仪和相应的DSP处理部分, 完成目标的自动锁定与跟踪, 战斗机上的目视瞄准器和步兵头盔式微光仪, 需DSP完成图像的滤波与增强, 智能化目标的搜索、捕获。

**(10) 自动控制:** 机器人控制, 磁盘控制, 自动驾驶, 声控, 发动机控制。

**(11) 医疗仪器:** 助听、诊断工具、超声仪, CT、核磁共振。

**(12) 家用电器:** 数字电话, 数字电视, 音乐合成, 音调控制, 玩具与游戏, 高保真音响, 数字收音机、数字电视。

**(13) 汽车:** 防滑刹车、引擎控制、伺服控制、振动分析、安全气囊的控制器、视像地图。

## 0.4 如何选择DSP

从本质上说,没有任何处理器能够满足所有的,或者大多数应用的需要。

**DSP第一类应用:** 大量便宜的嵌入式系统,如手机、硬盘和光盘驱动器(用于伺服控制)和便携式播放器。在这些应用中,成本和集成是极为重要的。对便携式的以电池供电的产品,功耗也极为重要。

**DSP第二类应用:** 处理专门的复杂算法的大量数据。以声纳和地震探矿为例,其产品的产量并不大,但算法非常复杂,产品的设计工作量很大,也更复杂。因此设计者希望使用性能最高的、最容易使用的、能支持多处理器配置的方案。

DSP的选取，完全取决于应用。某种DSP对于某些应用可能是很好的，但对于另外的应用可能很差的。

### 0.4.1 如何选择数据格式

定点格式、浮点格式。

大多数DSP使用定点运算。有的DSP使用浮点运算。

**浮点运算与定点运算相比**，灵活性和数据的动态范围都比较大，因此，比较容易编程。因为浮点DSP电路更复杂，芯片也更大，所以成本和功耗也就比较大。

但在很多情况下，不需关注数据的动态范围和精度。可考虑使用定点DSP。大多数批量生产的产品使用定点DSP，主要考虑其成本和功耗低。

程序员和算法设计者根据实际应用的要求，通过分析和仿真来确定数据的动态范围和精度，然后在需要的时候，在代码中增加定标运算。

对于需要很高动态范围和精度的应用，或在开发的容易程度比成本更重要的情况下，浮点DSP就有其优势。

### 0.4.2 数据宽度

所有浮点DSP为32位，大多数定点DSP是16位，但有的也使用20、24、32位数据字。

数据字的长短是影响成本的重要因素，因为它极大地影响芯片的大小、引脚数以及DSP的片外存储器的大小。

### 0.4.3 速度

有多种方法来衡量DSP的速度。最基本的是指令周期，即用MIPS——每秒执行多少百万条指令。但问题是：不同的DSP在单个周期所完成的工作是大不相同。

使用MOPS（每秒百万次运算）和MFLOPS（每秒百万次浮点运算），要十分小心。因为不同厂商的关于“运算”的概念是不同的。

其次，要注意的是，DSP的输入时钟可能和DSP的指令速率一致，也可能内部时钟加倍。

现在许多DSP是用低频的时钟，来产生片上所需的高频时钟。

#### 0.4.4 存储器的安排

关注：多次访问存储器（DARAM），哈佛结构，高速缓存，存储空间的大小。

#### 0.4.5 开发的难易程度

为减少产品成本，可使用比较便宜的开发工具。

使用何种语言编程。选择C语言、汇编语言等。用C编写的较多。对实时性要求高的程序，仍用汇编语言编写。也有混合编写的。

消费类产品，由于成本限制，不可能使用高性能的DSP。

#### 0.4.6 支持多处理器

雷达：高数据率和大运算量的应用系统，往往需要多个DSP，在这种情况下，DSP的连接是否容易、连接的性能，都成为重要的因素。近年推出的DSP大都非常注意增加专门的接口或DMA通道，来支持多DSP的运行。

#### 0.4.7 功耗和电源管理

越来越多的DSP用于电池供电的便携式应用（如手机、便携式播放器），许多DSP厂商都降低了DSP的供电电压，加强了电源管理功能。

### 0.4.8 成本

决定DSP的价格的主要因素之一是器件封装的价格。

### 0.4.9 结论

并不存在最好的DSP。正确的DSP选择取决于具体的应用场合。

对于一种应用来说是好的选择，对另外的应用则可能是很差的。

## 0.5 TI公司的主流产品

三大家族：2000系列、5000系列、6000系列。

### 0.5.1 TMS32000家族

TMS32000家族，将闪存、10位A/D、CAN（控制器局域网）等各种片内外设集成在一起，主要包括TMS3204X及TMS3208X两类产品。

主要产品为两个系列：C20X、C240X

C20X：系列用于电话、数字相机、嵌入式家电设备等。

C240X：主要用于数字电机控制、电机控制、工业自动化电力转换系统等

### 0.5.1.1 TMS320C240X系列

该系列为16位定点DSP，速度：

LF240X为30 MIPS，

LF240XA为40 MIPS。

专为数字电机控制和其它控制系统而设计的。是当前集成度最高、性能最强的运动控制芯片。

不但有高性能的C2XX CPU内核，配置有高速数字信号处理的结构，且有单片电机控制的外设。

将数字信号处理的高速运算功能，与面向电机的强大控制功能结合在一起，成为传统的多微处理器单元和多片系统的理想替代品。

可用于控制功率开关转换器，可提供多电机的控制等。  
C240X采用诸如自适应控制、卡尔曼滤波和控制等先进的**控制算法**，支持多项式的高速实时算法，因而可减少力矩纹波、降低功耗、减少振动，从而延长被控设备的寿命，**为各种电机提供了高速、高效和全变速的先进控制技术。**

4级流水线结构，采用改进的哈佛结构。

**片内外设及存储器：**

- (1) 双10位（双8路或单16路）A/D转换器，转换时间500nS。
- (2) 41个可独立编程的多路复用I/O引脚；
- (3) 带锁相环PLL的时钟模块；
- (4) 看门狗定时器模块；

- (5) 串行通信接口SCI与串行外设接口SPI;**
- (6) 两个事件管理器EVA、EVB, 可为所有电机类型提供控制技术, 在工业自动化方面的应用奠定了基础。**
  - \* 3个具有死区功能的全比较单元; 2个单比较单元;**
  - \* 防止击穿故障的可编程PWM死区控制;**
  - \* 2个16位通用定时器;**
  - \* 3个事件捕捉单元, 其中2个具有直接连接光电编码器脉冲的能力;**
- (7) 8个16位PWM通道--三相反相器控制;**
- (8) 5个外部中断 (两个驱动保护、复位、两个可屏蔽中断) ;**

(8) CAN 2.0B模块

(9) 指令集：包括信号处理指令和通用控制指令，利用它的为反转变址寻址能力可进行基2的FFT运算。

(10) 用于仿真的JTEG接口。

(11) 片内存储器：32K字闪存、2.5K字RAM

### 0.5.1.1 TMS320C28X系列

为32位定点，速度为可达400 MIPS

片内：闪存、12位A/D、CAN（控制器局域网）总线模块、SPI、SCI等片内外设。

## 0.5.2 TMS5000家族

该系列高性能、多种片内外设选择、小封装、省电。

适用：无线电通信、因特网。电源可降至0.9V 及. 速度可达600.

非常适用于：数字音乐唱机、3G电话、数字相机。

### 0.5.2 .1 TMS54X系列

16位定点, 功耗0.32 mw/MIPS, 32-532MIPS.

### 0.5.2 .2 TMS55X系列

8-48位浮点, 功耗0.05 mw/MIPS, 288-600MIPS. 程序字宽度为32位.

### 0.5.3 TMS320C6000家族

TMS320C6000家族为高性能DSP.

包括：TMS320C62X定点DSP系列、TMS320C64X定点DSP系列、  
TMS320C67X浮点DSP系列。

#### 0.5.3.1 TMS320C62X系列

工作频率：150–300MHz,

运行速度：1200–2400MIPS

内部2个乘法器，6个算术逻辑单元，超长指令字（VLIW）结构，大容量的片内存储器和大范围的寻址能力，4个DMA接口，2个多通道缓存串口，2个32位片内外设。

### 0.5.3 .2 TMS320C64X系列

工作频率：400–600MHz，  
运行速度：3200–4800MIPS  
具有特殊功能的指令集。

### 0.5.3 .3 TMS320C67X系列

为高性能浮点DSP  
工作频率：100–225MHz  
运行速度：600–1350MFLOPS  
具有4个浮点/定点算术逻辑单元，2个定点算术逻辑单元，2个浮点/定点乘法器。

## 0.6 系统的芯片集成——SOC

SOC (System on Chip) 系统集成到芯片上。是下一代基于DSP产品的主要发展方向之一。

如，具有电视质量的无线电会议、家庭娱乐设施、电子游戏等。

最近，可将8个DSP核，每个具有1亿个晶体管，集成到拇指大的一块芯片上。

2010年，可将12个DSP核，每个具有5亿个晶体管，集成到一块芯片上。相当于将今天的笔记本集成到手表大的体积内。

以移动电话为例，逐步完成了从模拟到数字式的过度，即从第一代（1G）到第二代（2G）的过渡，在很短的时间内，从2G向2.5G和3G发展。

## 0.6.1 2G手机简介

GSM，几乎所有的2G手机采用的基带体系结构，都是以两个可编程处理器（一个DSP和一个MCU）为基础的。目前，已逐渐将这两个处理器集成在一个芯片中。

### 在时分多址（TDMA）模式手机：

DSP负责数据流的调制解调，利用编解码实现传输误码纠正，维持数据链路的稳定，对数据进行加密、解密、保证通信的安全性，对语音数据进行压缩和解压缩。

### 在码分多址（CDMA）模式手机：

采用扩频技术，手机功能划分的方案也就发生了相应的变化，DSP仍是手机的关键部件，负责前向纠错加密、语音压缩和解压缩，还负责控制ASIC硬件。

ASIC硬件：负责对扩频信号调制或解调及后处理。

在2G手机中，上述功能由DSP硬件来实现，时钟为40MHz，在2.5G手机，语音编码芯片较以前更为复杂，数据速率率更高，时钟已高于100MHz。

在2G手机中。MCU负责支持手机的用户界面。例如，大多数采用32位的RISC内核——ARM7就是典型的代表。时钟不超过10MHz。在2.5G手机，时钟也不超过40MHz。

随着科技发展，手机的功能及实现方案也在发生变化。

目前，手机还是一个封闭的、静态的、嵌入式系统的典型，主要还是为用户建立一个语音信道，这是一个固定的、实时的、集中的DSP任务。

未来的移动电话市场可能会发生分化：

传统的以语音业务为主的，会继续占有一定的市场份额。

随着互联网的发展，例如下载一个MP3应用程序，希望手机支持一个电视会议，或变为GPS辅助导航仪，将具有类似于个人计算机的特性，变为一个应用平台。因此，手机的体系结构也将发生重大的变化。

### 0.6.2 2G手机简介

与2G手机相比，3G手机的体系结构将发生重大变化。

多媒体数据应用日益显得重要。为将实时通信功能和用户交互式分开，TI开发了的双处理器开放式多媒体应用平台。

50-100MIPS提高到500MIPS以上。未来的手机可能会采用多个DSP芯片，一个用来实现固定功能，嵌入式解调器，另外一个更加灵活的DSP芯片用来实现各种应用。

在未来的手机中，为支持各种可下载的应用，3G中使用的DSP体系结构和软件基础结构必须不断变化，此时，DSP将不再是具有固定功能的嵌入式处理器，而开始呈现出许多类似于通用处理器的特征，如超高速指令缓冲器和内存管理单元等功能。为实现动态任务管理，需要实时操作系统（RTOS）。