

第 2 章 DSP 芯片

2.1 DSP 芯片的结构与特点

DSP 芯片，中文全称是数字信号处理芯片，也称数字信号处理器，是一种高性能微处理器，特别适合于进行 DSP 运算，是快速实现各种 DSP 算法的最佳选择。

DSP 芯片的基本结构大致可以分为中央处理单元(CPU)、总线、存储器以及片内集成外设与专用硬件电路四大部分。

DSP 芯片的 CPU，通常可称为 DSP 内核或 DSP 核(DSP core)，主要包括算术逻辑单元(ALU)、乘累加单元(MAC)、累加器(ACC)、移位寄存器和寻址单元等。

DSP 芯片的存储器包括片内 RAM、ROM、FLASH 等。

DSP 芯片外设与专用硬件电路包括各种类型的串行通信接口、主机通信接口、定时器、时钟发生器、锁相环以及各种控制电路。

DSP 芯片的总线在 CPU 与存储器、外设和专用硬件电路等部分之间传送指令和数据，起到桥梁的作用。

图 2-1 给出了一个具有典型特点的 DSP 芯片结构框图。

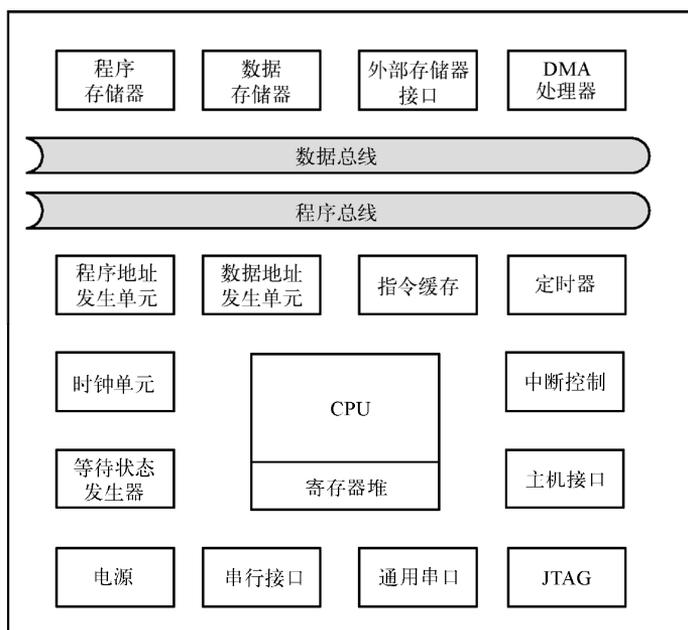


图 2-1 具有典型特点的 DSP 芯片结构框图

一般微处理器的 CPU 都采用冯·诺依曼(Von Neuman)结构设计，如图 2-2 所示。在这种结构中，程序指令与数据共享同一个存储空间，统一编址、依靠指令计数器提供的地址来区分指令和数据，采用同一组地址总线和数据总线访问。这种设计便于硬件实现和管理，但每次在读取指令后，还需要通过同一组总线来取数，数据传输效率不高。

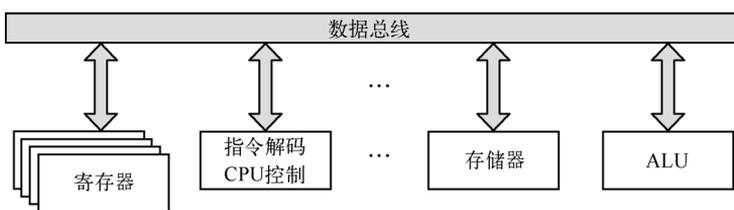


图 2-2 冯·诺依曼结构

DSP 芯片的总线结构一般采用哈佛结构，如图 2-3 所示。哈佛结构是不同于传统的冯·诺依曼结构的并行体系结构，其主要特点是设置了分开的程序总线和数据总线，可独立访问，提高了数据的吞吐率。

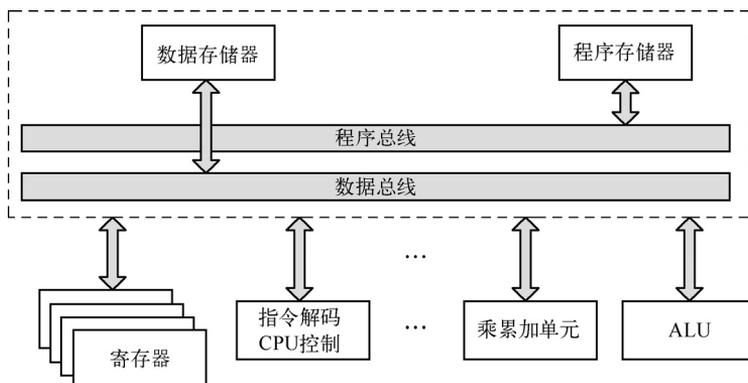


图 2-3 哈佛结构

由于采用特殊的总线结构和内核，DSP 芯片具有如下一些主要特点：

- (1) 在一个指令周期内可以同时完成一次乘法和一次加法；
- (2) 采用程序空间和数据空间分开的结构，可以同时访问指令和数据；
- (3) 芯片内部具有快速的 RAM，通常可通过独立的数据总线在两块 RAM 中同时访问；
- (4) 硬件支持低开销或无开销循环及跳转；
- (5) 支持快速的中断处理和硬件 I/O；
- (6) 具有在单周期内操作的多个硬件地址产生器；
- (7) 提供并行指令，可以并行执行多个操作；
- (8) 支持流水线操作，使取指、译码和执行等操作可以并行执行。

早期的 DSP 芯片侧重于信号处理的运算能力，因此，与通用的微处理器相比，其接口等功能相对较弱一些。但是，近年来新推出的 DSP 芯片的功能和性能大大提升，有些芯片已经将通用微处理器的一些功能集成在芯片中，有些芯片甚至将微处理器与 DSP 核集成在一个芯片中，各自完成其擅长的功能。

2.2 DSP 芯片的发展

世界上第一片单片 DSP 芯片应当是 1978 年 AMI 公司宣布的 S2811，1979 年美国 Intel 公司宣布的商用可编程器件 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。

第一家采用 CMOS 工艺生产浮点 DSP 芯片的是日本的 Hitachi 公司，该公司于 1982 年推出了浮点 DSP 芯片。1983 年，日本 Fujitsu 公司推出的 MB8764，其指令周期为 120ns，且具有双内部总线，从而使处理器的吞吐量发生了一个大的飞跃。而第一片高性能的浮点 DSP 芯片是美国 AT&T 公司于 1984 年推出的 DSP32。美国 Motorola 公司在推出 DSP 芯片方面相对较晚，1986 年该公司推出了定点处理器 DSP56001，1990 年推出了与 IEEE 浮点格式兼容的浮点 DSP 芯片 DSP96002。

美国模拟器件公司 (Analog Devices Inc., 简称 ADI 公司) 在 DSP 芯片市场上占有较大的份额，自 1986 年开始生产销售 DSP 芯片，是国际上可编程 DSP 芯片的主要供应厂商之一。目前，ADI 公司有 Blackfin、SHARC、Sigma、TigerSHARC 和 21xx 等 5 个系列的 DSP 芯片，可供选择的 DSP 芯片有百余种，种类和数量多，选择余地大。

Blackfin DSP 芯片是为满足嵌入式音频、视频和通信应用而设计的一类新型嵌入式 DSP 芯片，该系列芯片基于由 ADI 和 Intel 公司联合开发的微信号架构 (MSA)，将一个 32 位 RISC 型指令集和双 16 位乘累加器集成在一起，兼有 DSP 芯片强大的信号处理能力和通用型微控制器的易用性，极大地简化了系统的软硬件设计。Blackfin DSP 芯片包括：ADSP-BF56x、ADSP-BF54x、ADSP-BF53x、ADSP-BF52x、ADSP-BF51x、ADSP-BF50x、ADSP-BF59x 等。

SHARC DSP 芯片是一类 32 位浮点型 DSP 芯片，该系列 DSP 芯片基于超级哈佛 (Super Harvard) 架构，将高性能的内核、存储性能与出色的 I/O 吞吐能力有机地结合在一起。这种超级哈佛架构通过增加一个 I/O 处理器及其相关专用总线的方法，扩展了最初的程序与数据总线分离的概念。除了满足大多数计算密集型实时信号处理应用的需求外，SHARC DSP 芯片还集成了大量的存储器阵列和专用外设，从而可简化产品的设计。SHARC DSP 芯片包括：ADSP-2106x、ADSP-2116x、ADSP-2126x、ADSP-2136x/7x、ADSP-2146x/7x/8x 等。

Sigma DSP 芯片专门为音频处理而设计，该系列芯片采用 28/56bit 高精度数字音频 DSP 内核，并将音频处理必需的资源 (如 A/D、D/A 等) 集成到芯片中，可采用 SigmaStudio 图形化工具软件进行编程，满足不同用户对音频处理的不同需求，可广泛应用于汽车、便携式应用等场合。典型的 Sigma DSP 芯片有：AD1940/AD1941、ADAU1442/1445/1446、ADAU1701/ADAU1702。

TigerSHARC DSP 芯片是从 SHARC DSP 芯片系列发展而来的，具有比 SHARC DSP 芯片更强的浮点运算能力。该系列芯片是为了适应多片 DSP 芯片协同工作实现高速 DSP 处理而设计的，每个周期可执行 8 个 16 位的乘累加操作 (40 位累加) 或 2 个 32 位的乘累加操作 (80 位累加)，每个周期内也可执行 6 个单精度浮点操作或 24 个 16 位定点操作，并行机制允许每个周期内最多执行 4 个 32 位指令。目前有 ADSP-TS101、ADSP-TS201、ADSP-TS202 和 ADSP-TS203 等。

21xx DSP 芯片是 ADI 公司最早推出的 16 位定点 DSP 芯片，ADSP-2101 是 ADI 公司于 1986 年推出的最早的一个 DSP 芯片。目前主要以 ADSP-218x、ADSP-219x 为代表。

目前，国际上应用最广的 DSP 芯片应当是美国德克萨斯仪器公司 (Texas Instruments, 也称德州仪器公司，简称 TI 公司) 的一系列产品。本章 2.6 节将介绍该公司的 DSP 芯片。

自 1980 年以来，DSP 芯片得到了突飞猛进的发展，DSP 芯片的应用越来越广泛。可从以下几个方面来了解 DSP 芯片的发展。

- 运算速度：芯片的 MAC 时间已经从 20 世纪 80 年代初的 400ns (如 TMS32010) 降低到 10ns 以下 (如 TMS320C54x/C55x)，处理能力提高了几十倍，甚至上百倍。
- 片内资源：越来越丰富，RAM、ROM、McBSP 串行接口、I²C 接口、USB 接口、并行接口、A/D、定时器、通用 I/O，等等。
- 制造工艺：1980 年采用 4 μ m 的 N 沟道 MOS (NMOS) 工艺，而现在则普遍采用亚微米

CMOS 工艺。

- 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，增强了芯片的功能，提高了芯片外部接口的灵活性，如外部存储器的扩展和处理器间的通信等。
- 芯片封装：从早期的双列直插封装(DIP)，到现在普遍使用的方形扁平封装(QFP)和球形栅格阵列封装(BGA)，虽然功能与引脚数量明显增加，但芯片体积却变小了。
- 芯片种类：品种越来越多，定点、浮点，单核、双核、多核……总能找到一款适合特定应用的芯片。
- 芯片价格：同等性能条件下，价格显著下降，芯片的性能价格比显著上升。

2.3 DSP 芯片的应用

自从 20 世纪 80 年代初诞生以来，DSP 芯片得到了飞速的发展。DSP 芯片的高速发展，一方面得益于集成电路技术的快速发展，另一方面也得益于巨大的应用市场。在 30 多年时间里，DSP 芯片已经在信号处理、自动控制、电信、雷达、音视频、汽车、医疗、家电等许多领域得到广泛的应用。目前，DSP 芯片的价格越来越低，功能越来越强大，性能价格比日益提高，应用潜力巨大。

DSP 芯片的典型应用如表 2-1 所示。

表 2-1 DSP 芯片的典型应用

应用领域	典型应用
通用信号处理	数字滤波、自适应滤波、快速傅里叶变换、相关运算、谱分析、卷积、模式匹配、波形产生
自动控制	工业控制、发动机控制、声控、自动驾驶、机器人控制、磁盘控制
电信	移动电话、调制解调器、自适应均衡、数据加密、数据压缩、回波抵消、多路复用、传真、扩频通信、纠错编码
语音	声码器、语音合成、语音识别、语音增强、说话人辨认、说话人确认、语音存储、文/语转换
图形/图像/视频	二维和三维图形处理、图像压缩与传输、图像增强、动画制作、机器人视觉、数字地图、视频会议、视频监控
军事	保密通信、雷达处理、声呐处理、导航、导弹制导
汽车	引擎控制、振动分析、防抱死刹车、自动排挡控制、导航定位、语音命令
仪器	频谱分析、函数发生、锁相环、地震处理
医疗	数字助听、超声设备、诊断工具、病人监护
家用电器	数字电视、高保真音响、音乐合成、音调控制、玩具与游戏

随着 DSP 芯片性能价格比的不断提高，DSP 芯片将会在更多的领域内得到更为广泛的应用。

2.4 DSP 芯片的分类

DSP 芯片分类有多种方式，这里按以下四种方式来分类。

1. 按数据格式分

这是根据 DSP 芯片工作的数据格式来分类的。通常可以分为定点 DSP 芯片和浮点

DSP 芯片。

(1) 定点 DSP 芯片

数据以定点格式工作的称为定点 DSP 芯片，如 TI 公司早期的 TMS320C1x/C2x、TMS320C2xx/C5x，现在广泛应用的 TMS320C54x/C55x、TMS320C64x/C62x，ADI 公司的 ADSP-blackfin 系列，Motorola 公司的 DSP56000，Lucent 公司的 DSP1600 等。

定点 DSP 芯片的一个重要指标是数据的字长，一般的数据字长为 16 位(也有 24 位、32 位)。对于 16 位定点 DSP 芯片，指令集中支持运算的数据多数是 16 位的整型数，少数指令可能也支持 32 位，但运算量会增加。

读到此处，读者肯定会问：我写的算法程序中很多数据都是带小数点的，不是整型数，那还能不能用定点 DSP 芯片进行处理呢？答案当然是可以的，否则定点 DSP 芯片的用途将十分有限。

关于如何将小数转换为整型数，以及定点数据处理方法，感兴趣的读者可参阅本书作者的另一本书，即电子工业出版社出版的《DSP 芯片的原理与开发应用》。

(2) 浮点 DSP 芯片

数据以浮点格式工作的称为浮点 DSP 芯片，如 TI 公司早期生产的 TMS320C3x/C4x，现在广泛应用的 TMS320C67x，ADI 公司的 SHARP DSP 系列，Lucent 公司的 DSP32/32C，Motorola 公司的 DSP96002 等。

不同浮点 DSP 芯片所采用的浮点格式不完全一样。有的 DSP 芯片采用自定义的浮点格式，如 TMS320C3x；而有的 DSP 芯片则采用 IEEE 的标准浮点格式，如 Motorola 公司的 DSP96002、Fujitsu 公司的 MB86232 和 ZORAN 公司的 ZR35325 等。

2. 按芯片用途分

按照 DSP 芯片的用途来分，可分为通用型 DSP 芯片和专用型 DSP 芯片。

通用型 DSP 芯片是用户可编程的，也称可编程 DSP 芯片，适合普通的 DSP 应用，如 TI 公司的 DSP 芯片都属于通用型 DSP 芯片。本书主要讨论这种通用型的可编程 DSP 芯片。

专用型 DSP 芯片是为特定的 DSP 运算而设计的，更适合特殊的运算，如数字滤波、卷积、FFT、语音编码，具有对特定应用快速运算的特点。这类芯片是用户不可编程的。

3. 按 DSP 核数量分

按照 DSP 芯片内含的 DSP 核数量来分，可分为单核型 DSP 芯片和多核型 DSP 芯片。

单核型 DSP 芯片内部仅有一个 DSP 核，如 TMS320VC5509、TMS320VC5416、TMS320C6424 等。

多核型 DSP 芯片一般内含 2 个或 2 个以上的 DSP 核，如 TMS320C6474 内有 3 个 TMS320C64x 的 DSP 核。

4. 按芯片内含 CPU 类型分

按照 DSP 芯片内含的 CPU 类型来分，我们还可以将 DSP 芯片分为单纯型 DSP 芯片和混合型 DSP 芯片。

单纯型 DSP 芯片内含的 CPU 不论数量多少，均为 DSP 核。

混合型 DSP 芯片内部除了 DSP 核以外，还有其他类型的 CPU，一般为 ARM 核，形成 DSP+ARM 的混合形式。

2.5 DSP 芯片的选择

设计开发一个 DSP 系统，DSP 芯片的选择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他电路。总的来说，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 系统由于应用场合、应用目的等不尽相同，对 DSP 芯片的选择也是不同的。选择 DSP 芯片时应综合考虑 DSP 芯片的运算速度、硬件资源、开发工具等诸多因素，如图 2-4 所示。

1. 运算速度

运算速度是 DSP 芯片的一个最重要的性能指标，也是选择 DSP 芯片时要考虑的一个主要因素。DSP 芯片的运算速度可以用以下几种性能指标来衡量：

(1) 指令周期：执行一条指令所需的时间，通常以 ns(纳秒)为单位。如 TMS320VC5509A 在时钟频率为 100MHz 时的指令周期为： $1/100(\mu\text{s})=10\text{ns}$ 。

(2) MIPS：MIPS 是 Million Instructions Per Second 的缩写，即每秒执行 100 万条指令的数量。1MIPS = 每秒可执行 100 万条指令。如 TMS320VC5509A 的运算处理能力为：

若时钟频率为 100MHz，则指令周期=10ns，运算能力为 $1/10\text{ns}=100\text{MIPS}$ ，即每秒最多可执行 1 亿条指令。

若时钟频率为 200MHz，则指令周期=5ns，运算能力为 $1/5\text{ns}=200\text{MIPS}$ ，即每秒最多可执行 2 亿条指令。

(3) MMACS：MAC 是 Multiply and Accumulate 的缩写，即一次乘法和一次加法；MMACS 是 Million MACs Per Second 的缩写。DSP 芯片的特殊硬件结构使得它可以在一个指令周期内同时完成一次乘法和加法操作，这是 DSP 芯片的一个显著特征。例如，当 TMS320VC5509A 工作在最高的 200MHz 时钟频率时，其一次 MAC 时间是 5ns，即在 5ns 时间内可以做一次乘法和一次加法。该芯片的运算能力为 200MMACS。

(4) MOPS：MOPS 是 Million Operations Per Second 的缩写，即每秒执行 100 万次操作的数量。如 TMS320C40 的运算能力为 275 MOPS。

(5) MFLOPS：MFLOPS 是 Million Floating-point Operations Per Second 的缩写，即每秒执行 100 万次浮点操作的数量。如 TMS320C31 在主频为 40MHz 时的处理能力为 40 MFLOPS。

(6) FFT 执行时间：运行一个 N 点 FFT 程序所需的时间。由于 FFT 运算所涉及的运算在数字信号处理中很有代表性，因此 FFT 运算时间常常作为衡量 DSP 芯片运算能力的一个指标。

2. 运算精度

运算精度主要取决于 DSP 芯片的数据字长，字长越长，可以表示的数据的精度就越高。

不同公司生产的定点芯片的字长有所不同，TI 公司的定点 DSP 芯片的字长有 16 位和 32 位两种。有的定点芯片是 24 位，如 Motorola 公司的 MC56001 等。

浮点芯片的字长一般为 32 位。

3. 硬件资源

关于硬件资源，重点关注的是芯片内部的存储器容量(主要是 RAM)以及片内集成外设的

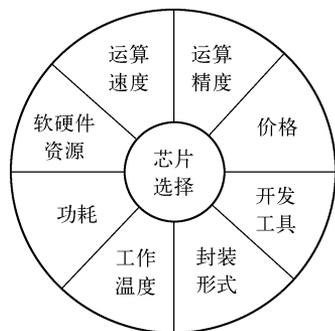


图 2-4 选择 DSP 芯片的考虑因素

种类和数量。不同的 DSP 芯片所提供的硬件资源是不相同的，如片内 RAM、ROM 的数量，外部可扩展的程序和数据空间，总线接口、I/O 接口等。即使是同一系列(如 TI 的 TMS320VC55x 系列)的不同 DSP 芯片，也具有不同的内部硬件资源，可以适应不同的需要。

4. 价格

DSP 芯片的价格也是选择 DSP 芯片需考虑的一个重要因素。价格昂贵的 DSP 芯片，即使性能再高，其应用范围也会受到一定的限制，尤其是民用产品。因此，根据实际系统的应用情况，需确定一个价格适中的 DSP 芯片。当然，由于 DSP 芯片发展迅速，DSP 芯片的价格往往下降较快，因此在开发阶段选用某种价格稍贵的 DSP 芯片，等到系统开发完毕，其价格可能已经下降不少。

5. 功耗

在某些 DSP 应用场合，功耗也是一个需要特别注意的问题。如便携式的 DSP 设备，野外应用的 DSP 设备，特别是需要电池供电的手持设备等，对功耗都有特殊的要求。

为了降低功耗，目前 DSP 芯片的供电普遍采用 DSP 核和 I/O 分开供电的方式。消耗大部分功耗的 DSP 核，其供电普遍采用较低的电压，如 1.8V、1.6V、1.35V、1.2V，甚至更低；而 I/O 电压普遍采用 3.3V 或 1.8V 供电。低电压供电显著降低了 DSP 芯片的功耗。图 2-5 给出了 TMS320VC5509A 时钟频率为 200MHz 时的供电方式示意图。

不同芯片由于内部结构不同，功耗也不同。一般而言，定点芯片的功耗要低一些，浮点芯片的功耗要高一些；同一个 DSP 芯片，相同工作条件下，工作时钟频率越高，消耗的功率也越大。

估算芯片功耗可以通过查阅芯片的资料来实现。一般，芯片资料会给出芯片上每种电压可能会消耗的电流大小的估计值。对于图 2-5，假设 3.3V 电压消耗的电流为 I_d (A)，1.6V 电压消耗的电流为 I_c (A)，则芯片消耗的功率大小可以估计为： $W_{DSP}=3.3I_d+1.6I_c$ (W)。

6. 工作温度

DSP 芯片的工作温度范围如表 2-2 所示。

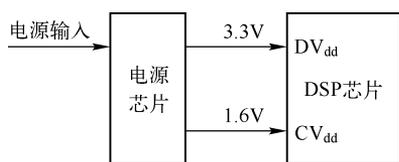


图 2-5 DSP 芯片的供电方式示意图

表 2-2 DSP 芯片的工作温度范围

芯片级别	工作温度范围
商用级 (commercial)	0~+85℃
工业级 (industrial)	-40~+85℃
汽车级 (automotive)	-40~+125℃
军用级 (military)	-55~+125℃

你所设计的 DSP 系统可能最终要求的是工业级或汽车级标准，就需要注意所选的芯片是否有工业级或汽车级标准的同类产品。

7. 封装形式

不同的 DSP 芯片有不同的芯片封装形式，早期有 DIP、PGA、PLCC 等，现在普遍采用 QFP 和 BGA 封装形式。QFP 封装的基材有塑料、陶瓷、金属三种，以塑料做基材的封装居多，可根据芯片封装本体的厚度分为 QFP(2.0~3.6mm)、LQFP(1.4mm)、TQFP(1.0mm)等。BGA 封装也有塑料基板 BGA(PBGA)、陶瓷基板 BGA(CBGA)等多种类型。

图 2-6 所示是 TMS320VC5509A 封装的示意图。

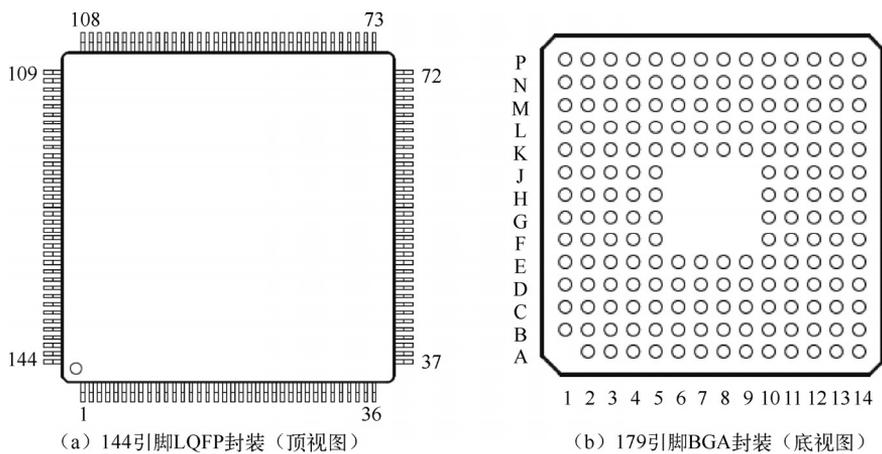


图 2-6 TMS320VC5509A 封装示意图

图 2-6(a)是该芯片 LQFP 封装的引脚图，引脚分布在芯片的四周，共 144 个引脚，芯片高度约 1.4mm，不含引脚的尺寸为 20mm×20mm，包含四周引脚的尺寸为 22mm×22mm，相邻两个引脚中心的间距为 0.5mm。

图 2-6(b)是该芯片 BGA 封装的底视图，引脚分布在芯片的底部，每个引脚呈球形，共 179 个，芯片尺寸为 1.2mm×1.2mm，芯片高度约 1.3mm，相邻两个球形引脚中心的间距为 0.8mm。

8. 开发工具

在 DSP 系统的开发过程中，开发工具是必不可少的。如果没有开发工具的支持，要想开发一个复杂的 DSP 系统几乎是不可能的。如果有功能强大的开发工具的支持，如 C 语言编译器支持，则开发的时间就会大大缩短。所以，在选择 DSP 芯片的同时必须注意其开发工具的支持情况，包括软件和硬件开发工具。

TI 公司的 DSP 芯片的开发工具主要包括：

- 软件开发工具：TI 公司提供了 CCS 集成开发环境，可运行在 Windows 操作系统下，可以不需要硬件支持在计算机环境下模拟运行程序。
- 硬件开发工具：有初学者开发套件 DSK、硬件仿真器、开发板等。

除了上述因素外，选择 DSP 芯片还应考虑芯片的供货情况、生命周期等。如果所设计的 DSP 系统不仅仅是一个实验系统，而是需要批量生产并且可能有几年甚至十年的生命周期，那么就需要考虑所选 DSP 芯片的供货情况，是否也有同样甚至更长的生命周期等。

在上述诸多因素中，一般而言，定点 DSP 芯片的价格较为便宜，功耗也相对较低；但其程序需要程序员进行精心设计，以达到运算精度与运算速度的最佳平衡。而浮点 DSP 芯片的优点是程序编写和调试方便，运算精度高；但价格稍贵，功耗也较大。例如，TI 的 TMS320VC55x 系列属于定点 DSP 芯片，低功耗和低成本是其主要的特点。而 TMS320C67x 属于浮点 DSP 芯片，运算精度高，用 C 语言编程方便，开发周期短，但同时其价格和功耗也相对较高。表 2-3 所示是两种类型芯片的比较。

表 2-3 定点芯片与浮点芯片的比较

芯片类型	定点 DSP 芯片	浮点 DSP 芯片
数据字长	一般是 16 位	32 位
运算精度	需要精心设计	高
芯片价格	较低	较高
芯片功耗	较小	较大
程序编写与调试	较难	较易
开发周期	较长	较短
适用场合	低成本、低功耗场合	成本与功耗不敏感场合

DSP 系统的运算量是确定选用处理能力多大的 DSP 芯片的基础。运算量小则可以选用处理能力不是很强的 DSP 芯片，从而可以降低系统成本。相反，运算量大的 DSP 系统则必须选用处理能力强的 DSP 芯片。如果单核 DSP 芯片的处理能力达不到系统要求，则可选用多核 DSP 芯片；如果还不能满足要求，则可以采用多片并行处理。关于 DSP 系统的运算量估计参见第 1 章。

2.6 TI 公司 DSP 芯片概述

TI 公司在 1982 年成功推出其第一代 DSP 芯片 TMS32010 及其系列产品，之后相继推出了以 TMS32020、TMS320C25、TMS320C30、TMS320C40、TMS320C50、TMS320C80 等为代表的多个系列芯片，这些芯片在不同的年代有力地推动了 DSP 技术的应用。目前，这些芯片由于技术性能已经落后，相继退出了历史舞台。30 多年来，TI 公司以其雄厚的技术实力引领着 DSP 芯片的快速发展，芯片的工艺水平越来越高，品种数量越来越多，运算速度越来越快，片内资源越来越丰富，性能价格比不断提升，应用领域越来越广泛。TI 公司的系列 DSP 产品已经成为当今世界上最有影响的 DSP 芯片。TI 公司已经成为世界上最大的 DSP 芯片供应商，其 DSP 市场占全世界份额的近 50%。

1. TI 公司五大系列 DSP 芯片简介

目前，TI 公司 DSP 芯片可以归纳为以下五大系列。

(1) TMS320C2000 系列

近年来，TI 公司逐渐将 TMS320C2000 系列芯片定位于面向实时控制领域，因此，该系列芯片现在也叫微控制器 (Microcontroller)。在该公司的网站上，该系列芯片也归类到微控制器目录下面。本书从历史发展和完整性的角度考虑，仍将该系列归类到 DSP 芯片。

该系列芯片的主要特征包括：

(1) 32 位 C28x 核，单周期 32×32 位乘累加；有些芯片支持单精度 32 位浮点运算，定点与浮点软件全兼容。

(2) 时钟频率范围为 40~300MHz，处理能力最高可达 600MFLOPS。

(3) 集成有高精度的 PWM 和快速的 A/D 转换器，可简化系统设计，降低系统成本。

(4) 提供多种通信接口，包括以太网和 USB 接口。

(5) 具有快速的中断响应时间，适于实时控制应用；集成有实时调试，简化控制系统的开发。

(6) 所有芯片符合 AEC Q-100 汽车标准应用。

(7) 内部有一个 128 位长度口令保护的代码加密模块，保护软件代码。

表 2-4 列出了该系列芯片的分类和主要性能。

表 2-4 C2000 的分类和主要性能

系 列	CPU	分 支	典型芯片	典型特征	主要应用
C2000	C28x	F28x	F280x F281x F2823x	32 位 C28x DSP 核 定点运算 150MHz 128K × 16 位 FLASH 多通道 12 位 A/D 12.5MSPS 采样 马达控制的外设 128 位安全密钥	实时控制 自动控制

系 列	CPU	分 支	典型芯片	典型特征	主要应用
C2000	C28x	Piccolo (F280xx)	F2802x F2803x F2805x F2806x F2807x	低成本控制 32 位 C28x DSP 核 FPU 浮点运算单元 CLA 协处理器 120MHz/240MIPS 专用硬件加速器 模拟和控制外设	汽车电子 数字电力 马达控制 家用电器 照明电子
	C28x	Delfino (F283xx)	F2833x F2834x F2837x	高性能控制 双 32 位 C28x DSP 核 FPU 浮点运算单元 CLA 协处理器 400MHz/800MIPS 专用硬件加速器 高精度模拟和控制外设 43.5MSPS 采样	高性能实时控制 数字电力 马达控制 汽车交通

(2) TMS320C5000 系列

TMS320C5000 系列也是定点 DSP 芯片，主要面向通信、信息技术领域，目前主推 TMS320C54x 和 TMS320C55x 两大类。TMS320C54x 系列成员众多，可提供各种性能选择，最高速度可达 160MIPS。TMS320C55x 在 TMS320C54x 的基础上采用高性能的电源管理技术，成为目前功耗最低的一类 DSP 芯片，内含两个乘累加器，最高速度可达 600MIPS，特别适用于需要电池供电等的低功耗应用场合。

表 2-5 列出了该系列芯片分类和主要性能。

表 2-5 C5000 DSP 芯片的分类和主要性能

系 列	分 支	典型芯片	典型特征	主要应用
C5000	C54x	VC5416 VC5409 VC5407 VC5402	DSP 核 C54x 定点运算 160MHz/160MIPS 128K×16 位 RAM 多种集成外设 -40℃~+100℃工作温度	语音和音频处理 调制解调器 无线数据通信
	C55x	VC5509A VC5510 C5535 C5517	DSP 核 C55x 定点运算 双 MAC 300MHz/600MIPS 160K×16 位 RAM 多种集成外设 0.45mA/MHz 低功耗 -40℃~+85℃工作温度	微型个人和便携产品 手机终端等电信应用 语音和音频处理 生物识别 低功耗视觉分析应用

(3) TMS320C6000 系列

TMS320C6000 系列是 TI DSP 芯片的高端产品，性能优越，且便于高级语言编程，特别适用于需要高性能处理的场合，如多通道处理、图像和视频处理等。该系列芯片种类较多，有定点型芯片(TMS320C62x/C64x)，浮点型芯片(TMS320C67x)，多 DSP 核芯片(TMS320C647x)，还有 DSP 核与 ARM 核结合的混合型芯片(如 OMAP-L1xx、OMAP35xx)。时钟速度快、运算能力强、接口丰富是该系列芯片的重要特点。

表 2-6 列出了该系列芯片的分类和主要性能。

表 2-6 C6000 DSP 芯片的分类和主要性能

系 列	CPU		分 支	典型芯片	典型特征	主要应用
C6000	定点型		C62x	C6205、C6204 C6203、C6202 C6201	DSP 核 C62x 200MHz/1600MIPS 32 位外部存储器接口 PCI 接口	高速运算处理 多通道应用 多功能应用
			C64x	C6424、C6421	DSP 核 C64x+ 1.2GHz/9600MIPS 64 位外部存储器接口 Viterbi 译码协处理器 Turbo 译码协处理器 1000Mbps 以太网口	
	浮点/定点型		C674x 低功耗	C6748、C6747 C6746、C6745 C6743、C6742	DSP 核 C674x 浮点/定点兼容 3648 MIPS/ 2746 MFLOPS 增强型 DMA LCD 控制器 两种外部存储器接口 多种多媒体接口	机器视觉/ 生物特征识别/货币 识别
			C67x	C6727、C6726 C6722、C6720 C6713、C6712 C6711、C6701	DSP 核 C67x+ 浮点运算 350MHz 增强的存储系统 增强的存储接口 双数据移动加速	专业音响设备 医疗设备 生物特征识别
	DSP+ ARM 型	定点 DSP+ Cortex- A8	OMAP35xx	OMAP3530 OMAP3525	DSP 核 C64x+ DSP 定点运算 DSP 520MHz ARM 720MHz 视频硬件加速 图形加速 照相机图像信号处理器 显示子系统 媒体接口	便携式导航设备/ 便携式媒体播放器/ 数字照相机/ 便携式数据采集/ 智能家居控制/ 游戏
		浮点 DSP+ ARM9	OMAP-L1xx	OMAP-L138 OMAP-L137 OMAP-L132	DSP 核 C674x DSP 浮点/定点兼容 DSP3648MIPS DSP2746MFLOPS ARM 456MHz LCD 控制器 各种多媒体接口	移动无线电/ 工业自动化/ 机器视觉/ 生物特征识别
	多 DSP 核型		C647x	C6474 C6472	3 个 C64x+ 定点运算 3×1.2GHz 28800MIPS Viterbi 译码协处理器 Turbo 译码协处理器 1000Mbps 以太网口	医学图像 高端视频与图像 通信基础设施 高端工业 机器视觉 测试与自动化

(4) Keystone 多核处理器

该系列芯片应该是目前业界性能最高的一类定点/浮点 DSP 芯片。该系列芯片建立在 TI 公司的 KeyStone 多核架构基础之上，采用 C66x DSP 内核作为芯片的 CPU。

TI 的 KeyStone 为集成 RISC、DSP 内核、专用协处理器和 I/O 提供了一种高性能软硬件架构。KeyStone 能够提供充裕的内部带宽，实现对所有处理内核、外设、协处理器以及 I/O 的

顺畅访问。该架构主要包括多核导航器、多核共享内存控制器、TeraNet 数据移动交换结构、HyperLink 芯片级互连等四大硬件元素。

多核导航器是一款基于包的创新管理器，可管理 8192 个队列。在把各种任务分配给这些队列时，多核导航器可提供硬件加速分发功能，将任务导向可用的适当硬件。这种基于数据包的片上系统可使用拥有 2Tbps 带宽的 TeraNet 来传输数据包。多核共享内存控制器允许处理内核直接访问共享内存，避免占用 TeraNet 的带宽，因此数据包传输就不会受到内存访问的限制。HyperLink 提供 40Gbaud 的芯片级互连，该互连让 SoC 能够协同工作。HyperLink 支持低协议开销与高吞吐量，是芯片间互连的理想接口。通过与多核导航器协同工作，HyperLink 可将任务透明地分发给串联器件，而任务的执行就如同在本地资源上运行一样。

C66x DSP 内核子系统(Corepac)对于定点运算具有四倍于 C64x+的乘累加能力，C66x 内核集成浮点功能。在 1.25GHz 工作频率下，每个 C66x 内核的定点处理能力为 40GMACS，浮点处理能力为 20GFLOPS。每个周期能够执行 8 个单精度浮点乘累加运算，可执行双精度和混合精度运算，并与 IEEE754 兼容。与 C64x+相比，C66x 内核集成有针对浮点和面向矢量数学运算处理的 90 条全新指令，显著提升了处理能力。C66x 内核与 TI 之前的 C6000 定点和浮点 DSP 内核向后代码兼容，从而确保了软件可移植性并且缩短了将应用移植到更快硬件时所需的软件开发周期。

Keystone 多核处理器可以分为单纯 DSP 核的多核处理器和 DSP+ARM 混合的多核处理器两大类。

单纯 DSP 核的多核处理器基于 Keystone I 的多核架构，目前有 C665x 和 C667x 两个类别。C665x 内部集成有 1 个 C66x 的 DSP 核(C6655)或 2 个 C66x 的 DSP 核(C6657)，C667x 内部集成了多达 8 个 C66x 的 DSP 核(C6678)。

DSP+ARM 混合的多核处理器基于 Keystone II 的多核架构，该架构在 Keystone I 架构的基础上提升了 2 倍或 4 倍的性能。目前其有 66AK2Ex 和 66AK2Hx 两个类别。

表 2-7 列出了 Keystone 多核处理器的分类和主要性能。

表 2-7 Keystone 多核处理器的分类和主要性能

系列	CPU	分支	典型芯片	典型特征	主要应用
Keystone 多核处理器	多核 DSP (基于 Keystone I 的多核架构)	C665x	C6657	1~2 个 C66x DSP Corepac 最高 2×1.25GHz=2.5GHz 定点 40GMACS/Corepac 浮点 20GFLOPS/Corepac	工业自动化 机器视觉 高性能计算 视频基础设施 医疗图像 高端成像 媒体处理 网络应用
			C6655		
		C6654			
		C667x	C6678		
	C6674				
	C6672				
C6671					
多核 DSP+ARM (基于 Keystone II 的多核架构)	66AK2Ex	66AK2E05	1 个 C66x DSP Corepac 每个 DSP1.4GHz 1 个或 4 个 ARM 核 Cortex-A15 每个 ARM1.4GHz	航空电子设备 工业自动化 服务器 企业网络 云基础设施	
		66AK2E02			
	66AK2Hx	66AK2H06			4 个 C66x DSP Corepac 每个 DSP 1.2GHz 2 个 ARM 核 Cortex-A15 每个 ARM 1.4GHz
66AK2H14/12		8 个 C66x DSP Corepac 每个 DSP 1.2GHz 4 个 ARM 核 Cortex-A15 每个 ARM 1.4GHz			

(5) DaVinci 视频处理器

该系列芯片是针对视频处理各种应用需要而专门设计的。目前，该系列芯片可以分为单纯 DSP 核、DSP+ARM 和单纯 ARM 核三大类。这里简要介绍带 DSP 核的前面两大类。

TMS320DM64x DSP 芯片是一款高性能的数字媒体处理器，它采用 TMS320C64x+ 定点 DSP 核，最高时钟频率为 1.1GHz，每个指令周期可以执行 8 个 32 位 C64x+指令，最高运算速度达 8800MIPS，具有 5 个可配置的视频接口。

TMS320DM81xx SOC(System-on-Chip：片上系统)基于 DSP+ARM 的混合结构，采用 TMS320C674x 浮点 DSP 核和 Cortex-A8 ARM 核。DSP 核支持定点和浮点运算，最高时钟频率为 1.125GHz，最高运算速度达 9000MIPS 和 6750MFLOPS。ARM 核的最高时钟频率为 1.35GHz。

TMS320DM37xx SOC 基于 DSP+ARM 的混合结构，采用 TMS320C64x+ 定点 DSP 核和 Cortex-A8 ARM 核。DSP 核的最高时钟频率为 800MHz，最高运算速度达 6400MIPS。ARM 核的最高时钟频率为 1GHz，运算速度达 2000MIPS。

TMS320DM64xx SOC 基于 DSP+ARM 的混合结构，采用 TMS320C64x+ 定点 DSP 核和 ARM9 核。DSP 核的最高时钟频率为 1GHz，最高运算速度达 8000MIPS。ARM 核的最高时钟频率为 500MHz，运算速度达 500MIPS。

表 2-8 列出了该系列芯片的分类和主要性能。

表 2-8 DaVinci 视频处理器的分类和主要性能

系 列	CPU		分支	典型芯片	典型特征	主要应用
DaVinci 视 频处理器	单 DSP		DM64x DSP (定点 C64x+)	DM648 DM647 DM643 DM642 DM641 DM640	DSP 核 C64x+ DSP 定点运算 DSP 1100MHz DSP 8800 MIPS 64 通道 增强型 DMA	视 频 与 图 像 处 理
	DSP+ ARM	DSP+ Cortex-A8	DM81xx SOC (浮点/定点 C674x)	DM8168 DM8167 DM8165 DM8148 DM8147 DM8127	DSP 核 C674x DSP 浮点/定点兼容 DSP 1125MHz DSP 9000 MIPS DSP 6750MFLOPS ARM 1350MHz ARM 2700MIPS 视频/图形加速 音频/视频 codec	
			DM37xx SOC (定点 C64x+)	DM3730 DM3725	DSP 核 C64x+ DSP 定点运算 DSP 800MHz DSP 6400MIPS ARM 1000MHz ARM 2000MIPS 视频处理子系统 视频图像协处理器	
		DSP+ ARM9	DM64xx SOC (定点 C64x+)	DM6467T DM6467 DM6446 DM6443 DM6441 DM6437 DM6435 DM6433 DM6431	DSP 核 C64x+ DSP 定点运算 DSP 1000MHz DSP 8000MIPS ARM 500MHz ARM 500MIPS 视频处理子系统 视频图像协处理器	

2. TI-DSP 芯片的命名方法

TI-DSP 芯片品种多, 适用面广, 选择订购 DSP 芯片还需要关注其芯片的命名规则。

除了 Keystone 混合型多核处理器命名较为特殊之外, TI-DSP 芯片的名称通常由前缀、器件系列、技术工艺、具体器件名、器件版本、封装类型、温度范围、器件速度等 8 个部分组成。表 2-9 示出了一款芯片名称各部分对应的含义。TI-DSP 芯片相对完整的命名方法参见附录 C。

表 2-9 TI-DSP 芯片名称含义

TMS	320	C	6454	B	ZTZ	()	600
前缀	器件系列	技术工艺	具体器件名	器件版本	封装类型	温度范围	器件速度

2.7 本章小结

本章简要介绍了 DSP 芯片的发展历史和 DSP 芯片的基本结构及特点, 概要介绍了 DSP 芯片的分类, 介绍了选用 DSP 芯片时必须考虑的因素, 最后分系列介绍了 TI 公司 DSP 芯片的主要特征。

习题与思考题

1. DSP 芯片的显著特点是什么? 它与一般的微处理器有什么区别?
2. 什么是定点 DSP 芯片和浮点 DSP 芯片? 各有什么优缺点?
3. 在选用 DSP 芯片时, 需要考虑哪些因素?
4. TI 公司目前有哪几个系列的 DSP 芯片, 每个系列各有什么特点? 主要应用领域是什么?
5. 下载阅读 TMS320VC5509A 的资料, 重点考察该芯片的运算速度、片内资源、供电电压、功耗、工作温度、封装形式等。