



第三章

嵌入式硬件系统基础

太原理工大学
物理与光电工程学院

2017-2018学年

教学目标

硬件是嵌入式系统的基石，是五层结构模型的第一层。本章以嵌入式系统的硬件为背景，对主要部件给予客观的分类和评判，尤其针对嵌入式处理器、存储器做了详述；同时对于系统设计的基本问题，如时钟、总线、能耗控制机理等做了系统的讲解；最后给出了硬件体系的评价方法，以作为硬件整体裁剪的标准。

主要内容

第一节 硬件体系框架

第二节 硬件系统元素

第三节 硬件系统要素

第四节 硬件系统评价

第一节

硬件体系框架



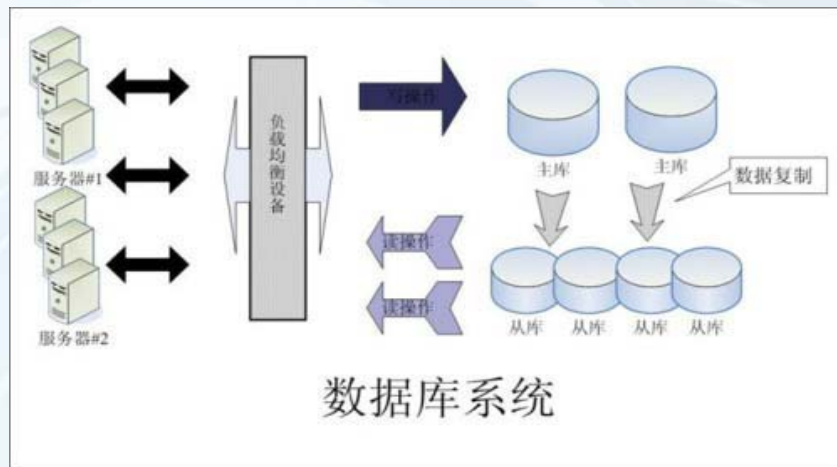
第一节 硬件体系框架

□嵌入式系统的开发涉及两个部分：**硬件开发和软件开发**。

- 硬件的开发是底层的、基础的开发，是整个系统开发过程中可见的或可触摸的部分——身躯——功能
- 硬件是软件的承载者。一个优良的嵌入式系统需要事先进行完善的硬件规划，才能具备所需要的功能条件。
- 在设计好嵌入式系统的硬件架构之后，就要着手设计软件部分。嵌入式系统软件——灵魂——决定着硬件的操作模式，通过优良的操作系统以及应用程序，可将硬件资源的功能发挥到极限。
- 由此可看出，硬件开发和软件开发是相辅相成，相得益彰的

第一节 硬件体系框架

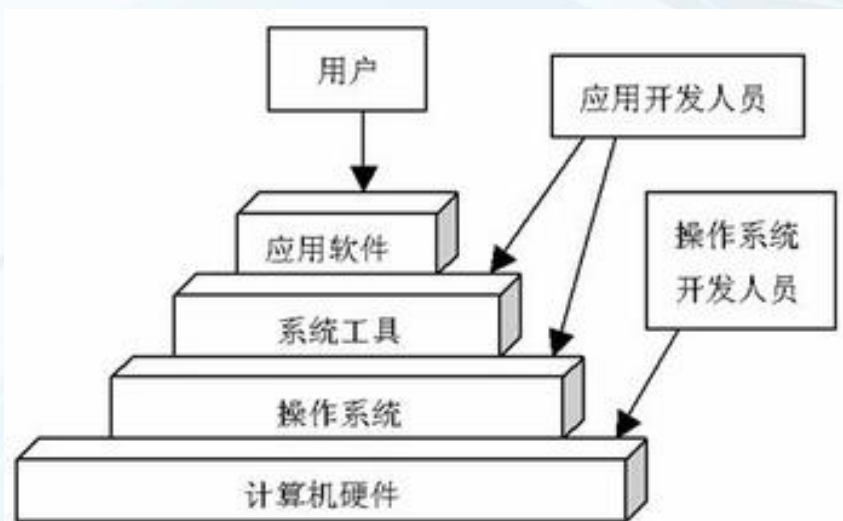
- 不仅仅是嵌入式系统的开发，其他类型系统的开发，如数据库系统、网络通信系统等也离不开硬件与软件这两个部分。
- 但数据库系统和网络通信系统的开发往往给开发者偏重软件的感觉，而嵌入式系统的开发则迥然不同。
- 一些程序员从他们原来的系统开发转到嵌入式系统开发时往往显得力不从心，原因就是缺少嵌入式开发的硬件基础。



- 大型高性能ASP.NET架构设计的数据库集群系统

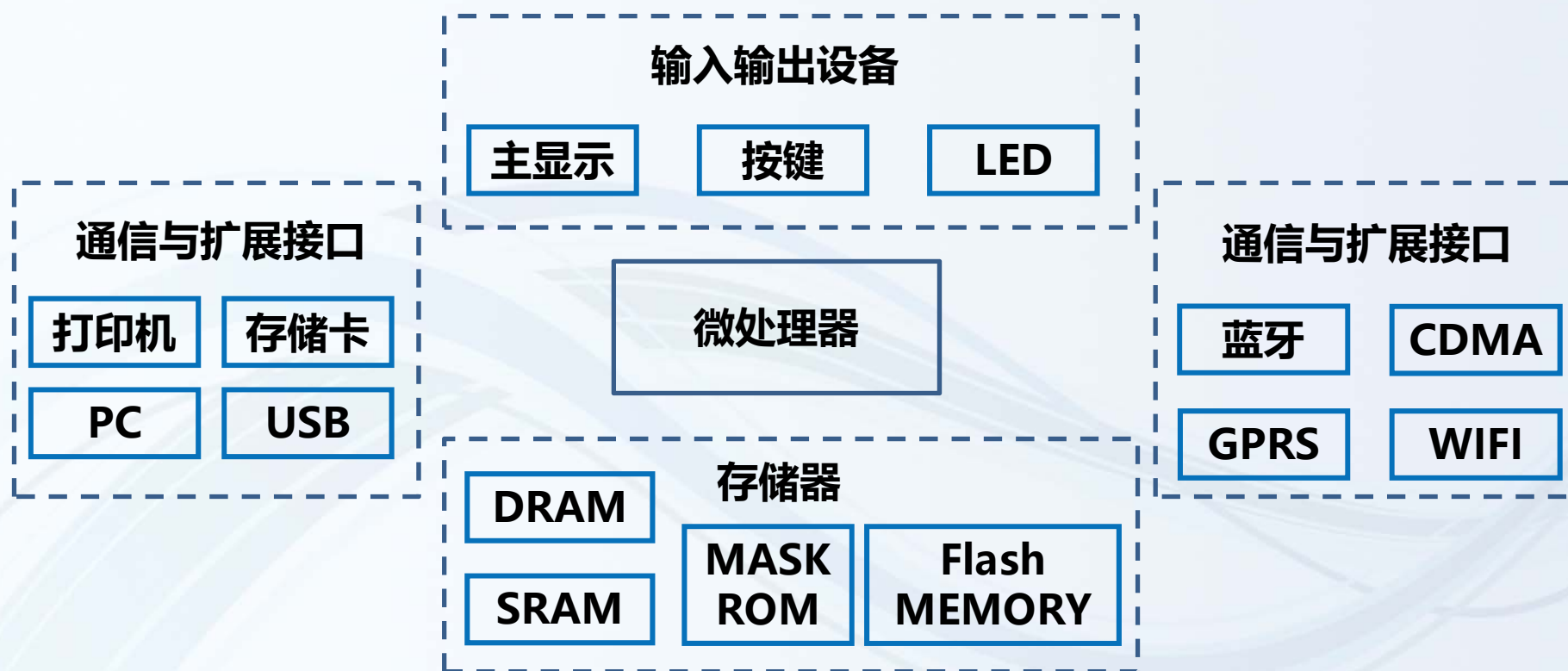
第一节 硬件体系框架

- 嵌入式系统开发人员需要熟悉系统中的所有硬件资源，嵌入式系统开发往往涉及一些底层编程。
- 这就要求开发人员熟悉微处理器所使用的指令集，熟悉嵌入式系统常用的外设接口（对接程序）。
- 只有这样，才能使用硬件资源所提供的功能进行相关的应用程序开发。

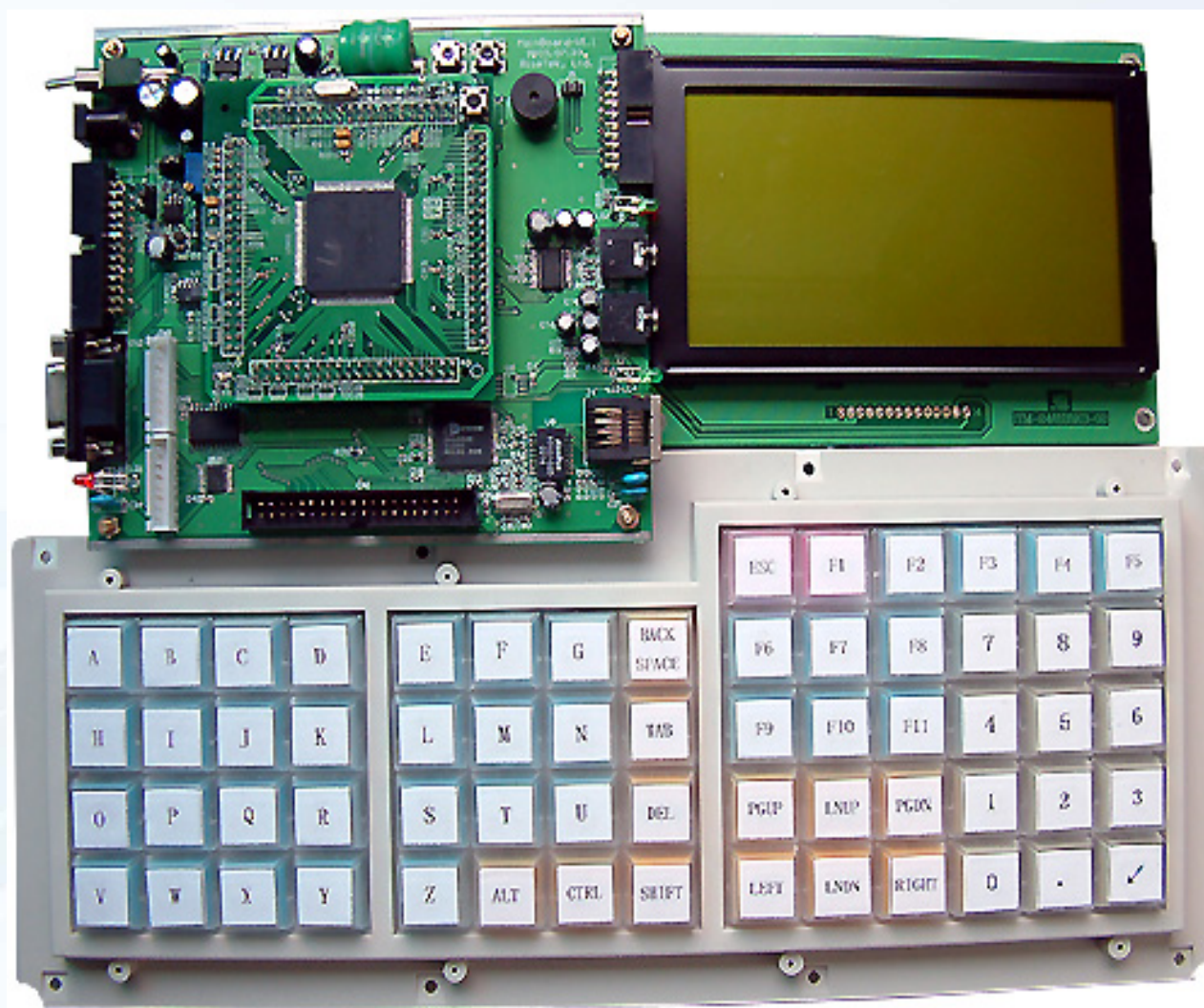


第一节 硬件体系框架

□ 嵌入式系统主要由以下四种硬件元素组成：微处理器、存储器、输入/输出设备、通信和扩展接口。



第一节 硬件体系框架



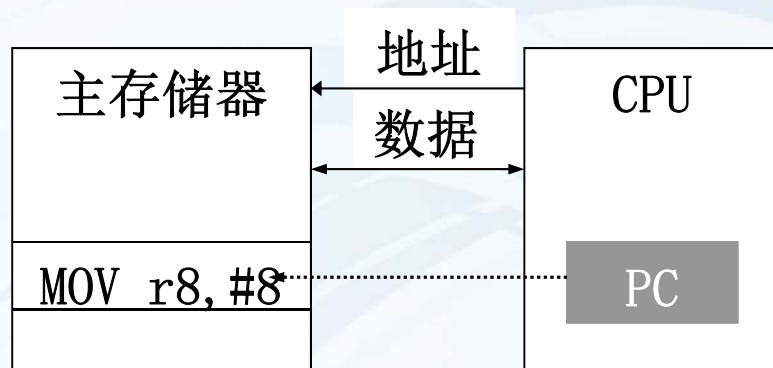
第一节 硬件体系框架

- 嵌入式微处理器是嵌入式系统的核心部件，它担负着控制、协调系统工作的重要任务，其功能的强弱直接决定了嵌入式应用的适用范围和开发复杂度。
- 嵌入式系统由于执行的任务相对固定，软件容量相对较小，所以不像桌面计算机系统那样要求存储器有很大的容量。但是，嵌入式系统一般要求较快的反应速度和较低的功耗，所以相应地就对存储器的速度、功耗要求较高。
- 输入/输出设备使人们可以和系统进行交互，人们通过输入/输出设备了解系统的运行情况，或对系统的运行进行干预。
- 通信和扩展接口使嵌入式系统能与其他系统或设备交换数据，并能对系统进行必要的扩展，以适应实际应用需求的变化。

第一节 硬件体系框架

◆ 硬件体系框架

- 每个嵌入式系统至少包含一个嵌入式微处理器
- 嵌入式微处理器体系结构可采用冯·诺依曼（Von Neumann）结构或哈佛（Harvard）结构



冯·诺依曼结构

传统的微处理器采用的冯·诺依曼结构将指令和数据存放在同一存储空间中，统一编址，指令和数据通过同一总线访问。

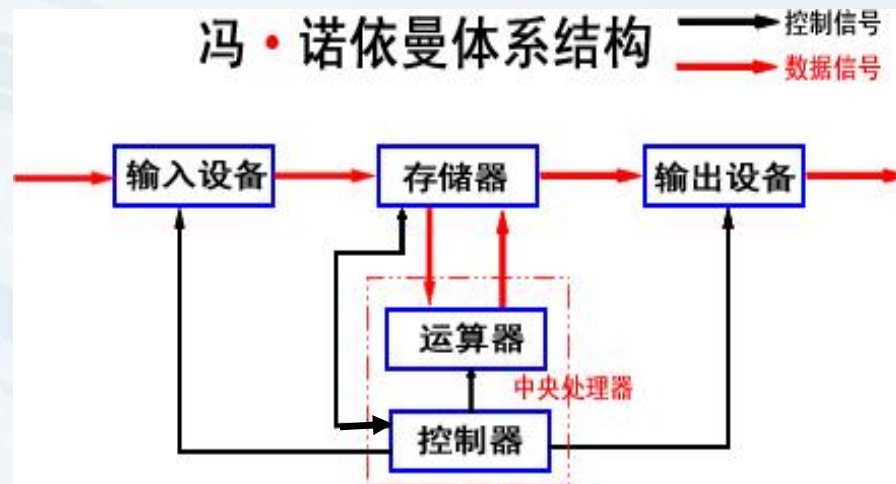
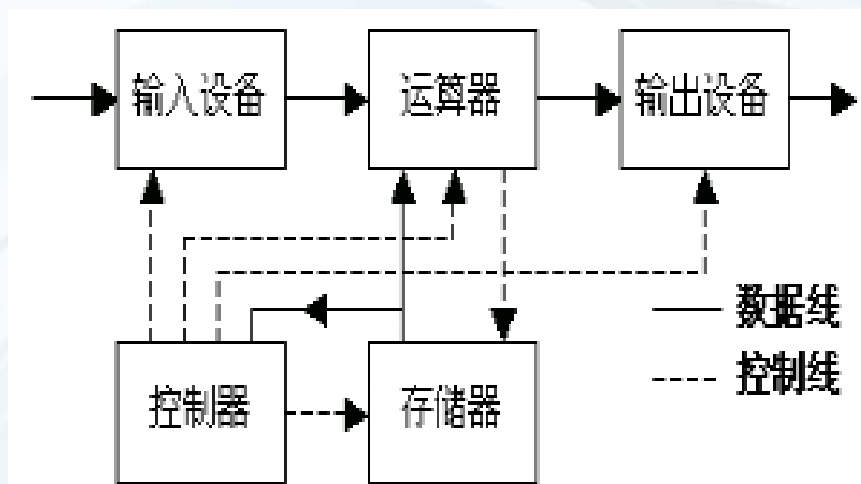
第一节 硬件体系框架

◆ 硬件体系框架

- 1945年，冯·诺依曼首先提出了“存储程序”的概念和二进制原理。人们把利用这种概念和原理设计的电子计算机系统称为“冯·诺依曼型结构”计算机。

□ 在冯·诺依曼结构的计算机中，指令和数据使用同一个存储空间，经由同一个总线传输。

□ 其结构及工作原理如下图所示：



第一节 硬件体系框架

◆ 硬件体系框架

- 冯·诺依曼的主要贡献就是提出并实现了“**存储程序**”的概念。
- 由于指令和数据都是二进制码，指令和操作数的地址又密切相关，因此，当初选择这种结构是自然的。
- 但是，这种指令和数据共享同一总线的结构，使得**信息流的传输**成为限制计算机性能的瓶颈，影响了数据处理速度的提高。

第一节 硬件体系框架

◆ 嵌入式微处理器



- 约翰·冯·诺依曼 (John von Neumann, 1903~1957), 匈牙利裔美籍数学家。
- 20世纪最重要的数学家之一, 在现代计算机、博弈论、核武器和生化武器等诸多领域内有杰出建树的最伟大的科学全才之一, 被后人称为“计算机之父”和“博弈论之父”。

冯·诺依曼六岁的时候作为一名匈牙利人已经能够用希腊语与自己的父亲开玩笑, 并且可以心算八位数的除法, 八岁的时候就已经掌握了普通人大学时候才可能掌握的微积分, 十岁的时候就已经读完了世界史, 并且对历史事件发生的时间了如指掌, 能够讨论现代与历史上的军事理论和政治策略。十二岁的时候就读懂了《函数论》。冯·诺依曼在大学期间一边学习化学, 一边自学布达佩斯大学数学系的课程, 他并不听课, 只是每年按时参加考试, 考试成绩都是A, 冯·诺依曼就以这样的成绩获得了布达佩斯大学数学的博士学位。后来冯·诺依曼成为了普林斯顿高级研究院教授, 当时这个研究院只聘用了五位教授, 其中之一就是爱因斯坦, 而冯·诺依曼当时年仅三十岁, 是这个研究所年龄最小的一位教授。

第一节 硬件体系框架

- **冯·诺依曼计算机的特点主要有：**

- 一、计算机有运算器、存储器、控制器、输入设备和输出设备五大部件组成，这五大部件是计算机不可或缺的部分，缺少了哪一个都无法正常工作。**

- 二、指令和数据以同等地位存放于存储器内，并可按地址访问。**

- 三、指令和数据均可用二进制表示。**

- 四、指令由操作码和地址码组成。操作码表示操作的性质、地址码表示操作数在存储器中的位置。**

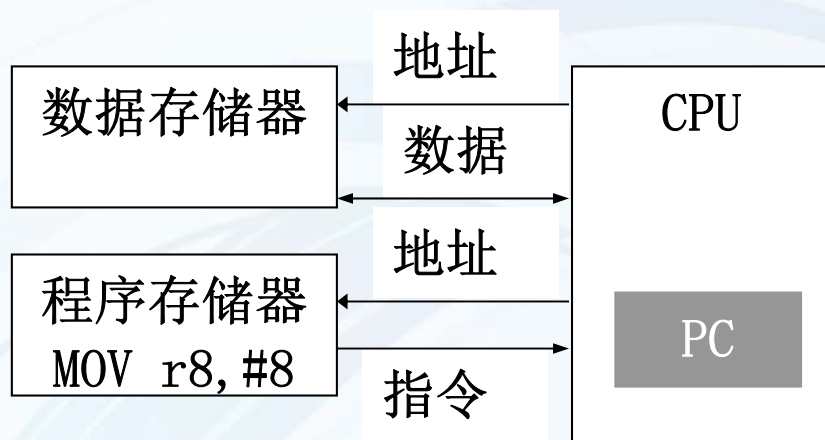
- 五、指令在存储器中按顺序存放。通常，指令是顺序执行的。在特殊情况下，可根据运算结果或指定的条件来改变运算顺序。**

- 六、机器以运算器为中心。输入输出设备和存储器之间的数据传送通过运算器完成。**

第一节 硬件体系框架

◆ 硬件体系框架

- 每个嵌入式系统至少包含一个嵌入式微处理器
- 嵌入式微处理器体系结构可采用冯·诺依曼（Von Neumann）结构或哈佛（Harvard）结构



哈佛结构

哈佛结构则是不同于冯·诺依曼结构的一种并行体系结构，其主要特点是**程序和数据存储在不同的存储空间中**，即程序存储器和数据存储器是两个相互独立的存储器，每个存储器独立编制、独立访问。与之相对应的是系统中设置的两条总线（程序总线和数据总线），从而使数据的吞吐率提高了一倍。

第一节 硬件体系框架

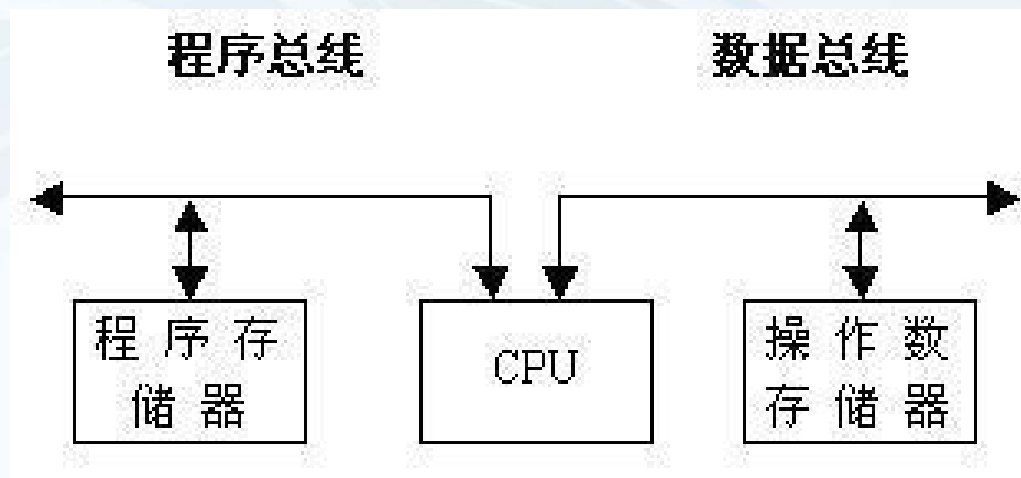
◆ 硬件体系框架

□与冯·诺依曼结构对应的是哈佛结构。与冯·诺依曼结构处理器比较，哈佛结构处理器有两个明显的特点：

(1) 使用两个独立的存储器模块，分别存储指令和数据。每个存储模块都不允许指令和数据并存。

(2) 使用独立的两条总线，分别作为CPU与每个存储器之间的专用通信路径，而这两条总线之间毫无关联。

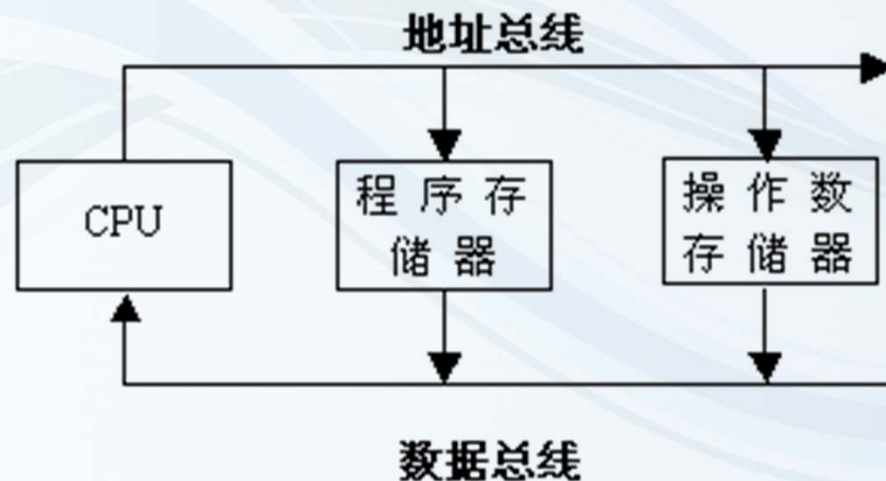
□哈佛结构的组织结构图如下图所示：



第一节 硬件体系框架

◆ 硬件体系框架

- 这种结构最大的优点就是**指令和数据分别存放**，因此保证了较高的可靠性
 - 这种结构出现后就大量用于嵌入式微处理器的设计，广泛应用的MC8051和ARM微处理器都是采用哈佛结构。
- 经过在实用中不断改进，逐渐演变出**改进的哈佛结构**，其结构图如下图所示：



第一节 硬件体系框架

◆ 硬件体系框架

- 改进型哈佛结构具有以下特点：

(1) 使用**两个独立的存储器模块**，分别存储指令和数据。每个存储模块都不允许指令和数据并存，以便实现并行处理。

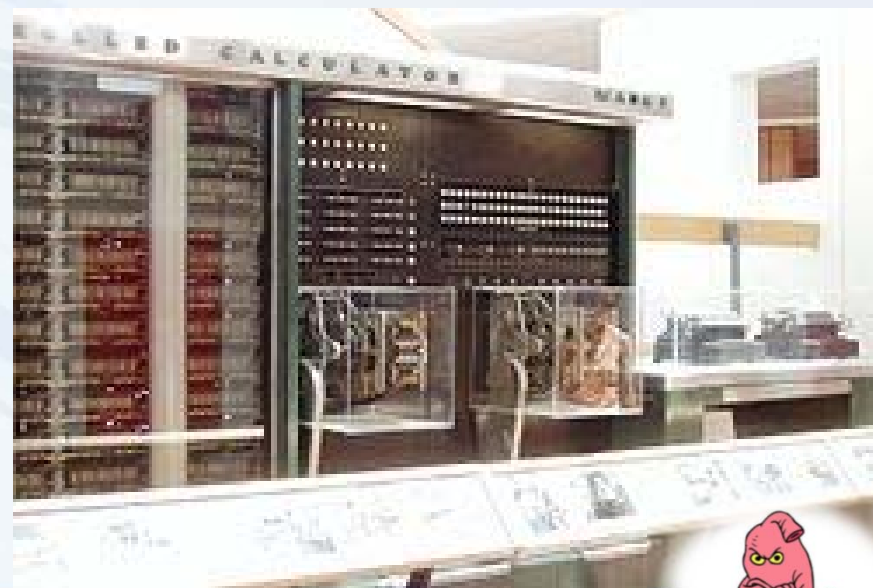
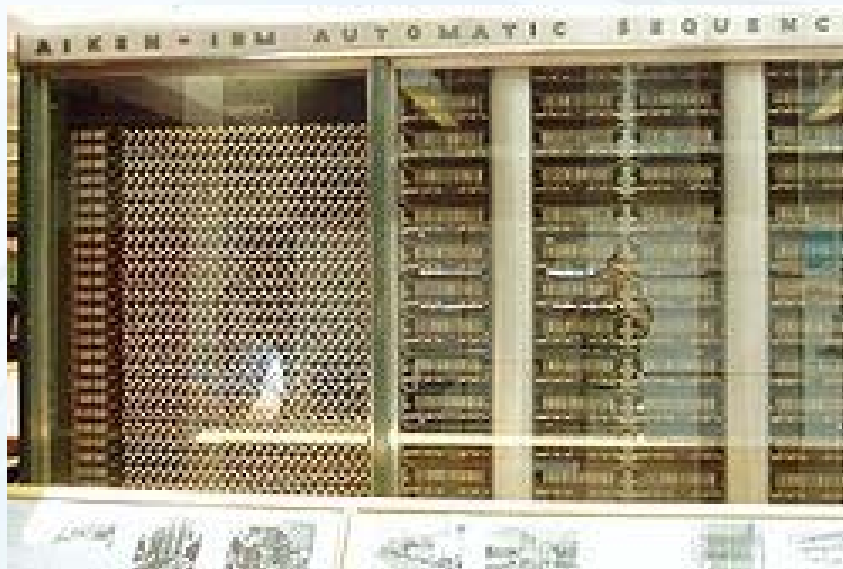
(2) 具有一条**独立的地址总线**和一条**独立的数据总线**，利用公用地址总线访问两个存储模块（程序存储模块和数据存储模块），公用数据总线则被用来完成程序存储模块或数据存储模块与CPU之间的数据传输。

(3) 两条总线由程序存储器和数据存储器**分时共用**。

第一节 硬件体系框架



- **马克一号：美国哈佛大学应用数学教授霍华德·阿肯在1937年得到美国海军部的经费支持，开始设计“马克1号”（由IBM承建），于1944年交付使用，总耗资约五十万美元。**



第一节 硬件体系框架

◆ 硬件体系框架

□在典型情况下，完成一条指令需要3个步骤，即取指令、指令译码和执行指令。

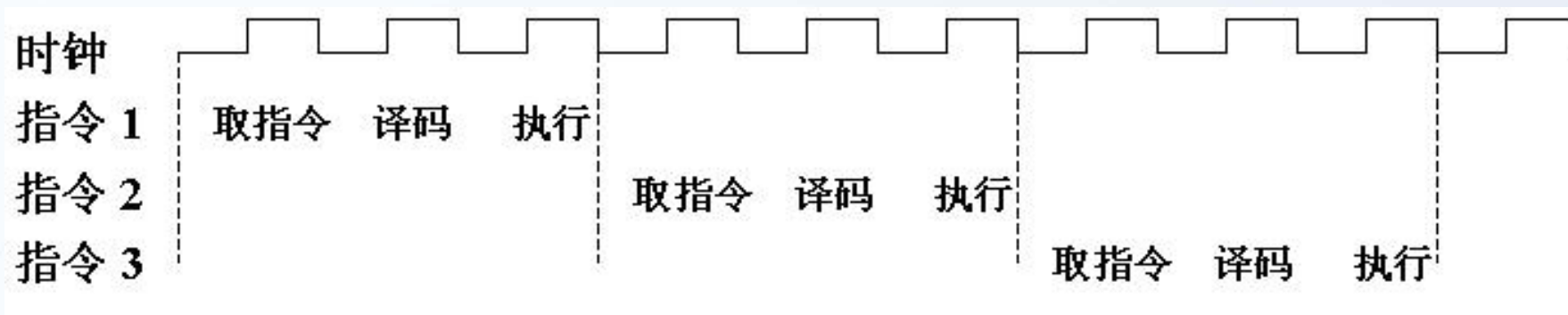
- 从指令流的定时关系也可看出冯·诺依曼结构和哈佛结构处理方式的差别

◆ 译码是编码的逆过程，在编码时，每一种二进制代码，都赋予了特定的含义，即都表示了一个确定的信号或者对象。把代码状态的特定含义“翻译”出来的过程叫做译码，实现译码操作的电路称为译码器。或者说，译码器是可以将输入二进制代码的状态翻译成输出信号，以表示其原来含义的电路。

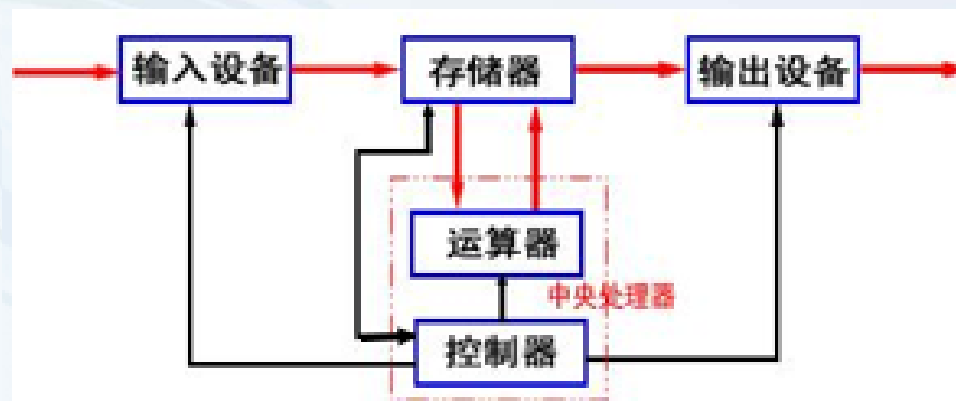
第一节 硬件体系框架

◆ 硬件体系框架

- 举一个最简单的对存储器进行读/写操作的指令，如下图所示



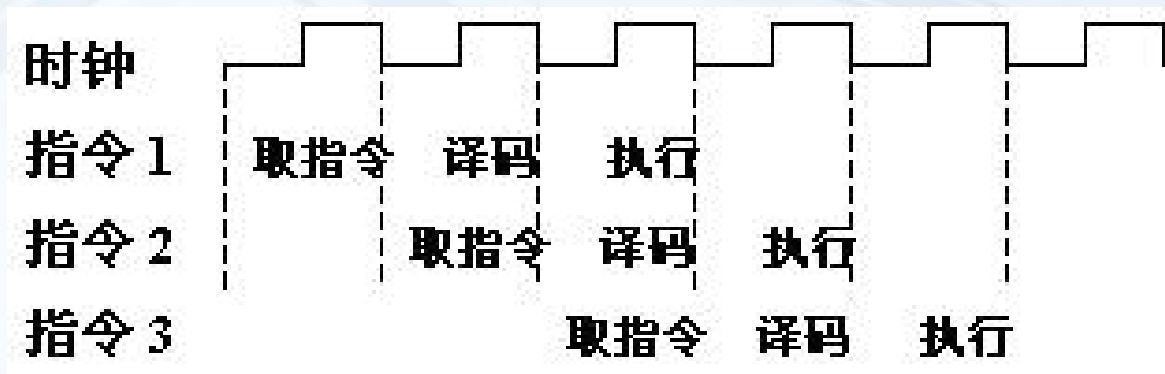
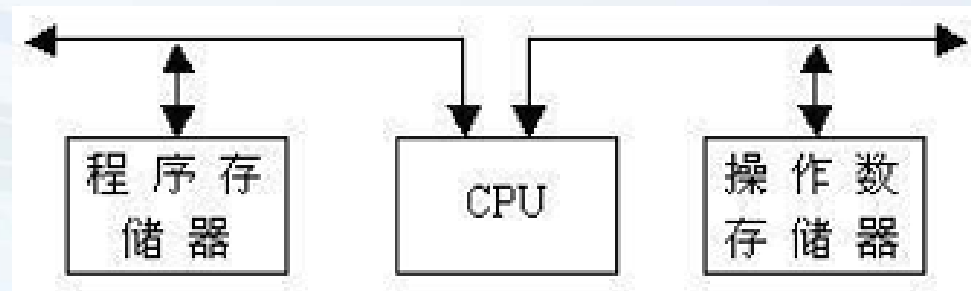
- 指令1~3均为存取数指令，对于冯·诺依曼结构处理器，由于取指令和存取数据要从同一个存储空间存取，经由同一总线传输，因此它们无法重叠执行，只有一个完成后再进行下一个。



第一节 硬件体系框架

◆ 硬件体系框架

- 如果采用哈佛结构处理以上同样的3条存取数指令，由于取指令和存取数据分别经由不同的存储空间和不同的总线，使得各条指令可以重叠执行，也就克服了数据流传输的瓶颈，提高了运算速度。
- 下图给出了哈佛结构处理器指令流的定时关系示意图：
- 以上介绍了哈佛结构的特点。可以看出，与冯·诺依曼结构相比，哈佛结构更适用于嵌入式应用。



第一节 硬件体系框架

◆ 硬件体系框架

- 大部分嵌入式应用都采用的是哈佛结构的微处理器。
- 但是为了提高与传统体系结构的兼容性（包括编译器和存储系统），往往采用一种折中的结构，这种结构称之为**哈佛Cache结构**。
- 这种结构中系统的主存和总线设计沿用冯·诺依曼结构中指令和数据统一的地址空间，但是在处理器内部将指令Cache和数据Cache分别设计，从而在Cache这一级别上将指令和数据空间独立，使处理器的取指令和取数据操作独立开来互不影响。
- 这种结构在Cache命中的前提下，提高了系统指令流水线的执行效率，使系统的整体效率得到提升。

第一节 硬件体系框架

◆ 硬件体系框架

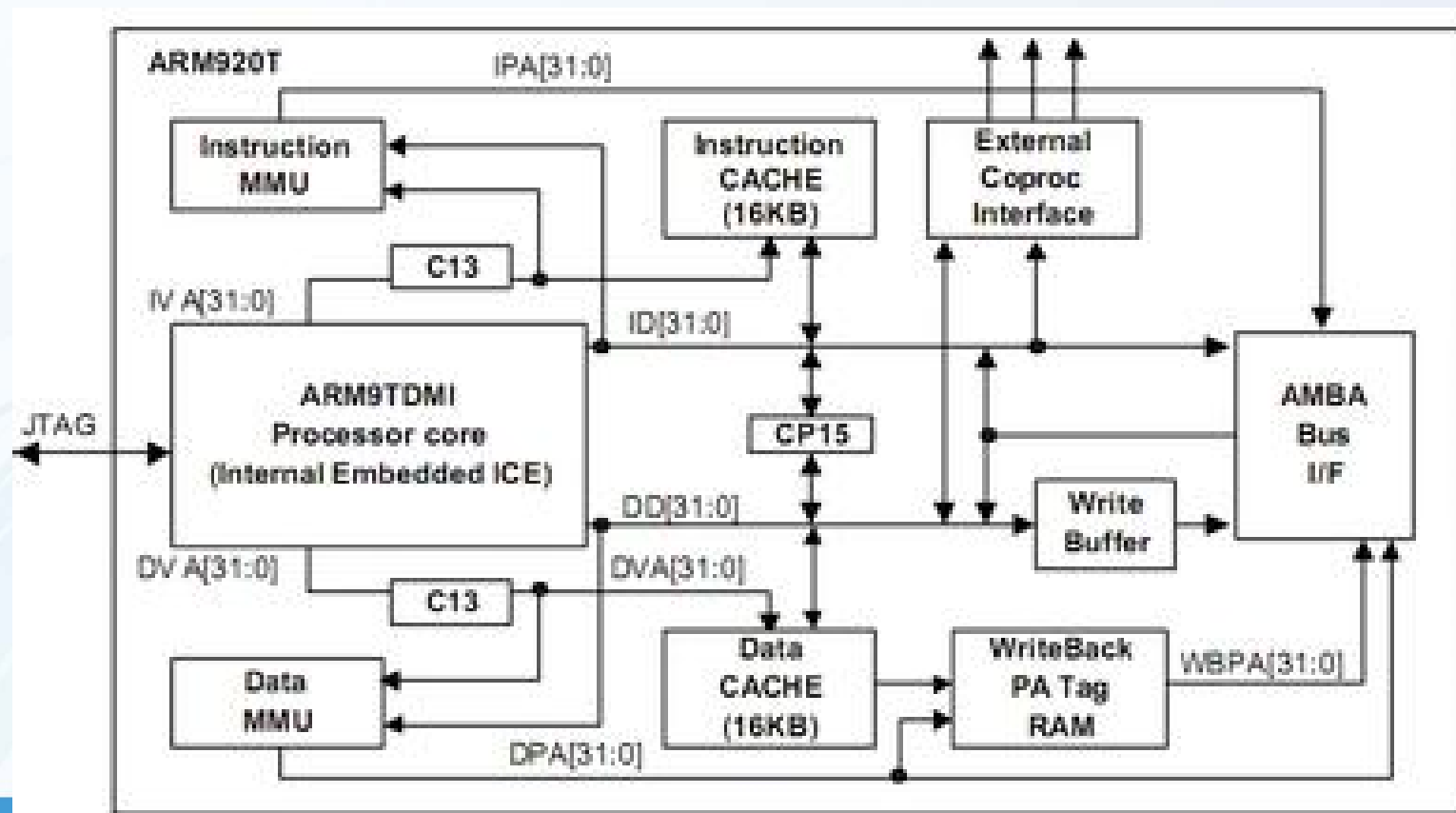
- 采用哈佛Cache结构的典型处理器有很多，如
 - Microchip公司的PIC系列芯片
 - Motorola公司的MC68系列
 - Zilog公司的Z8系列
 - Atmel公司的AVR系列
 - ARM公司的ARM9、ARM10、ARM11系列

◆ 美国智陆（Zilog）成立于1974年，是世界知名的集成电路公司，设计、开发、制造并销售用于消费电子、数据通信和计算机外围的大规模集成电路。主要产品包括：8位控制器，8位、16位、32位微处理器，数字信号处理器（DSP）等。上世纪八十年代曾以Z80系列产品风靡中国，其彩电控制芯片DTC在中国几十种彩电上采用，销售了100万片以上。

第一节 硬件体系框架

◆ 硬件体系框架

- S3C2410处理器采用的就是典型的哈佛Cache结构，有着独立的指令和数据Cache，在其之上是独立的指令数据MMU（Memory Management Unit），但是只包含一个对外的存储器接口，及AMBA（Advanced Microcontroller Bus Architecture）。



第一节 硬件体系框架

◆ 嵌入式微处理器

- 嵌入式微处理器的指令系统可采用精简指令集系统RISC (Reduced Instruction Set Computer)或复杂指令集系统CISC (Complex Instruction Set Computer)

	CISC	RISC
价格	由硬件完成部分软件功能，硬件复杂性增加，芯片成本高	由软件完成部分硬件功能，软件复杂性增加，芯片成本低
性能	减少代码尺寸，增加指令的执行周期数	使用流水线降低指令的执行周期数，增加代码尺寸
指令集	大量的混杂型指令集，有简单快速的指令，也有复杂的多周期指令，符合HLL (high level language)	简单的单周期指令，在汇编指令方面有相应的CISC微代码指令
高级语言支持	硬件完成	软件完成
寻址模式	复杂的寻址模式，支持内存到内存寻址	简单的寻址模式，仅允许LOAD和STORE指令存取内存，其它所有的操作都基于寄存器到寄存器
控制单元	微码	直接执行
寄存器数目	寄存器较少	寄存器较多

第一节 硬件体系框架

◆ 嵌入式微处理器

- 嵌入式微处理器有许多不同的体系，即使在同一体系中也可能具有不同的**时钟速度**和**总线数据宽度**、**集成不同的外部接口和设备**。
- 据不完全统计，目前全世界嵌入式微处理器的品种总量已经超过千种，有几十种嵌入式微处理器体系，主流的体系有ARM、MIPS、PowerPC、SH、X86等。

第一节 硬件体系框架

◆ 总线

- 嵌入式系统的总线**一般集成在嵌入式微处理器中。**
- 从微处理器的角度来看，总线可分为**片外总线**(如：PCI、ISA等)和**片内总线**（如：AMBA、AVALON、OCP、WISHBONE等）。
- 选择总线和选择嵌入式微处理器密切相关，总线的种类随不同的微处理器的结构而不同。

第一节 硬件体系框架

◆ 存储器

- 嵌入式系统的存储器包括**主存和外存**。
- 大多数嵌入式系统的**代码和数据都存储在处理器可直接访问的存储空间即主存中**。
- 系统上电后在主存中的代码直接运行。主存储器的特点是速度快，一般采用 ROM、 EPROM、 Nor Flash、 SRAM、 DRAM等存储器件。

第一节 硬件体系框架

◆ 存储器

- 目前有些嵌入式系统除了主存外，还有外存。外存是处理器不能直接访问的存储器，用来存放各种信息，相对主存而言具有价格低、容量大的特点。
- 在嵌入式系统中一般不采用硬盘而采用电子盘做外存，电子盘的主要种类有NandFlash、SD（Secure Digital）卡、CompactFlash、SmartMedia、Memory Stick、MultiMediaCard、DOC（Disk On Chip）等。

第一节 硬件体系框架

◆ 输入/输出接口与设备

- 嵌入式系统的大多数输入/输出接口和部分设备已经集成在嵌入式微处理器中。
- 输入/输出接口主要有**中断控制器**、**DMA**、**串行和并行接口**等，设备主要有定时器（Timers）、计数器（counters）、看门狗（watchdog timers）、RTC、UARTs、PWM（Pulse width modulator）、AD/DA、显示器、键盘和网络等。