

嵌入式系统设计与实例开发

—基于32位微处理器与实时操作系统

第一讲 引言

华北电力大学

控制与计算机工程学院

李东江副教授

希望大家有所收获

- 1、掌握一种学习方法
- 2、学习了解嵌入式技术研发的基本概念、方法和知识
- 3、获得嵌入式开发设计实践经验
- 4、获得学分

学时分配

- 总学时数：48
- 课内学时：48
- 讲课学时数：30
- 实验学时数：16
- 考试学时数：2

课程目的

- 本课程围绕基于ARM的微处理器和实时操作系统 μ C/OS，介绍了嵌入式系统前沿发展趋势，理解其设计方法，学会嵌入式编程技术。
- 课程采用讲课与实验相结合的方式。
- 着重培养学生的实际动手能力，通过熟悉开发环境与开发流程、编程实践等基础实验，使学生能够掌握嵌入式系统设计的基本方法。此外还增加了网络接口设计、嵌入式游戏开发等开放式实验，供基础较好的学生深入学习。
- 学生基础：是否学过C语言、微机原理或是单片机等

课程大纲（30学时+2学时）

地点：主楼G419（周一14:00-15:50）、主楼G419（周三14:00-15:50）

课次	学时	形式	内容
第1~4周	16	讲课	引言、嵌入式系统基本概念、ARM微处理器体系结构、ARM汇编语言程序设计、嵌入式系统初始化与操作系统移植分析、嵌入式 μ C/OS-II操作系统分析、嵌入式系统软件结构设计、基于 μ C/OS-II的嵌入式软件设计。（部分内容自学）
第5~7周	12	大作业汇报	胡振波《 手把手教你设计CPU——RISC-V处理器 》 第一部分 是CPU与RISC-V的综述，帮助初学者对CPU和RISC-V快速地建立起认识。 第二部分 讲解如何使用Verilog设计CPU，使读者掌握处理器核的设计精髓。 第三部分 主要介绍蜂鸟E203配套的SoC和软件平台，使读者实现蜂鸟E203 RISC-V处理器在FPGA原型平台上的运行。第四部分是附录，介绍了RISC-V指令集架构，辅以作者加入的背景知识解读和注解，以便于读者理解。 公开课 面向物联网的开源RISC-V处理器设计和开发
第12周	4	辅导	考试辅导+考试

实验内容（16学时）

地点：主楼E座机房

课次	学时	内宾
第8周	4	实验一： 实验二：
第9周	4	实验三： 实验四：
第10周	4	实验五： 实验六：
第11周	4	实验七：
		实验八：

参考资料

1. 王田苗 主编. 嵌入式系统设计及实例开发——ARM与 μ C/OS-II (第三版). 北京: 清华大学出版社, 2003.9
2. (美) Jean J.Labrosse, 邵贝贝译. μ C/OS-II——源码公开的实时嵌入式操作系统. 北京: 中国电力出版社, 2001.8
3. 魏洪兴 主编. 嵌入式系统设计与实例开发实验教程——ARM与 μ C/OS-II. 北京: 清华大学出版社, 2005.9

授课老师与实验答疑

- **主讲: 李东江 (嵌入式系统研究所 博士后/副教授)**

- **实验指导:**

- **答疑**

Tel: (010) 61772790

E-mail: ldjpublic@126.com

考核方式和评分标准

一、考核方式：实验（占30%）+笔试（70%）

您预期的收获

通过本门课程的学习，你将获得以下知识：

- 提高C语言编程能力（期望值：★★★）
- 学会使用实时操作系统，了解多任务（期望值：★★）
- 了解嵌入式软件开发流程（期望值：★）
- 掌握基本嵌入式硬件知识（期望值：★★）
- 独立或合作开发出嵌入式应用软件（期望值：★★★）
- 掌握嵌入式软件编程（期望值：★★★）
- 掌握硬件设计知识（期望值：★★★★）
- 学会操作系统移植（期望值：★★★★）
- 成为嵌入式系统设计高手（期望值：★★★★★）

提 要

1

嵌入式系统的发展及应用领域

2

嵌入式系统的定义与体系结构

3

嵌入式系统的教学应用

4

嵌入式系统的科研实践

嵌入式系统的发展历史——硬件

嵌入式系统本身是一个相对模糊的定义。一个手持的MP3和一个PC104的微型工业控制计算机都可以认为是嵌入式系统。

嵌入式系统已经有了近30年的发展历史，它是硬件和软件交替发展的双螺旋式发展。

最早的单片机是Intel公司的8048，它出现在1976年

Motorola同时推出了68HC05，Zilog公司推出了Z80系列，这些早期的单片机均含有256字节的RAM、4K的ROM、4个8位并口、1个全双工串行口、两个16位定时器。

之后在80年代初，Intel又进一步完善了8048，在它的基础上研制成功了8051。

嵌入式系统的发展历史——软件

1981年Ready System发展了世界上第1个商业嵌入式实时内核（VTRX32）包含了许多传统操作系统的特征，包括任务管理、任务间通讯、同步与相互排斥、中断支持、内存管理等功能。

随后，出现了如Integrated System Incorporation (ISI) 的PSOS、IMG的VxWorks、QNX公司的QNX 等，Palm OS, WinCE, 嵌入式Linux, Lynx, uCOS、Nucleux, 以及国内的Hopen、Delta OS等嵌入式操作系统。

今天RTOS已经在全球形成了1个产业，根据美国EMF（电子市场分析）报告，1999年全球RTOS市场产值达3.6亿美元，而相关的整个嵌入式开发工具（包括仿真器、逻辑分析仪、软件编译器和调试器）则高达9亿美元。

IEEE定义

根据IEEE（国际电气和电子工程师协会）的定义：

嵌入式系统是“用于控制、监视或者辅助操作机器和设备的装置”（原文为*devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants*）。

可以看出此定义是从应用上考虑的，嵌入式系统是软件和硬件的综合体，还可以涵盖机电等附属装置。

一般定义

“以应用为中心、以计算机技术为基础、软件硬件可裁剪、功能、可靠性、成本、体积、功耗严格要求的专用计算机系统。”

微机学会的定义

- **嵌入式系统是以嵌入式应用为目的的计算机系统。可分为系统级、板级、片级**
- **系统级：各种类型的工控器、PC104模块**
- **板级：各种类型的带CPU的主板及OEM产品**
- **片级：各种以单片机、DSP、微处理器为核心的产品**

《单片机与嵌入式系统应用》定义

- 嵌入式系统是嵌入到对象体系内部的专用计算机系统

嵌入式系统

- 广义上讲，凡是带有微处理器的专用软硬件系统都可称为嵌入式系统。如各类单片机和DSP系统。这些系统在完成较为单一的专业功能时具有简洁高效的特点。但由于他们没有操作系统，管理系统硬件核软件的能力有限，在实现复杂多任务功能时，往往困难重重，甚至无法实现
- 从狭义上讲，我们更加强调那些使用嵌入式微处理器构成独立系统，具有自己操作系统，具有特定功能，用于特定场合的嵌入式系统。这里所谓的嵌入式系统是指狭义上的嵌入式系统。

实时系统

- **实时系统**
 - **实时系统的正确性依赖于运行结果的逻辑正确性和运行结果产生的时间正确性，即实时系统必须在规定的时间范围内正确地响应外部物理过程的变化。**

实时系统

- **实时定义**
 - **一个实时操作系统可以在不破坏规定的时间限制的情况下完成所有任务的执行。**
 - **任务执行的时间可以根据系统的软硬件的信息而进行确定性的预测。也就是说，如果硬件可以做这件工作，那么实时操作系统的软件将可以确定性的做这件工作。**

实时系统

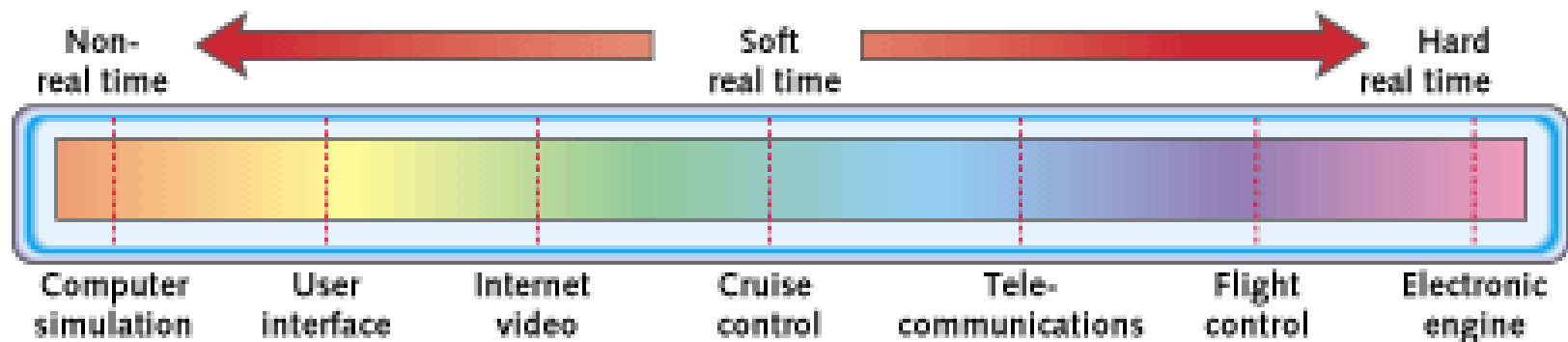
- **硬实时软实时**

- **“软”意味着如果没有满足指定的时间约束并不会导致灾难性的后果，而对于硬实时系统来说却是灾难性的**
- **从实践上说，软实时和硬实时之间的区别通常（隐含的和错误的）与系统的时间精度有关：由于这个原因，典型的，软实时任务的调度精度必须大于千分之一秒，而硬实时任务为微秒级。**

实时系统

- 硬实时软实时

Figure 1: The real-time spectrum



嵌入式系统的几个重要特征

(1) 系统内核小

- 由于嵌入式系统一般是应用于小型电子装置的，系统资源相对有限，所以内核较之传统的操作系统要小得多。
- 比如ENEAA公司的OSE分布式系统，内核只有5K，而Windows的内核则要大得多。

(2) 专用性强

- **嵌入式系统的个性化很强，其中的软件系统和硬件的结合非常紧密，一般要针对硬件进行系统的移植。**
- **即使在同一品牌、同一系列的产品中也需要根据系统硬件的变化和增减不断进行修改。**
- **同时针对不同的任务，往往需要对系统进行较大更改，程序的编译下载要和系统相结合，这种修改和通用软件的“升级”是完全不同的概念。**

(3) 系统精简

- **嵌入式系统一般没有系统软件和应用软件的明显区分，不要求其功能设计及实现上过于复杂，这样一方面利于控制系统成本，同时也利于实现系统安全。**

(4) 高实时性OS

- **这是嵌入式软件的基本要求，而且软件要求固态存储，以提高速度。软件代码要求高质量和高可靠性、实时性。**

(5) 嵌入式软件开发走向标准化

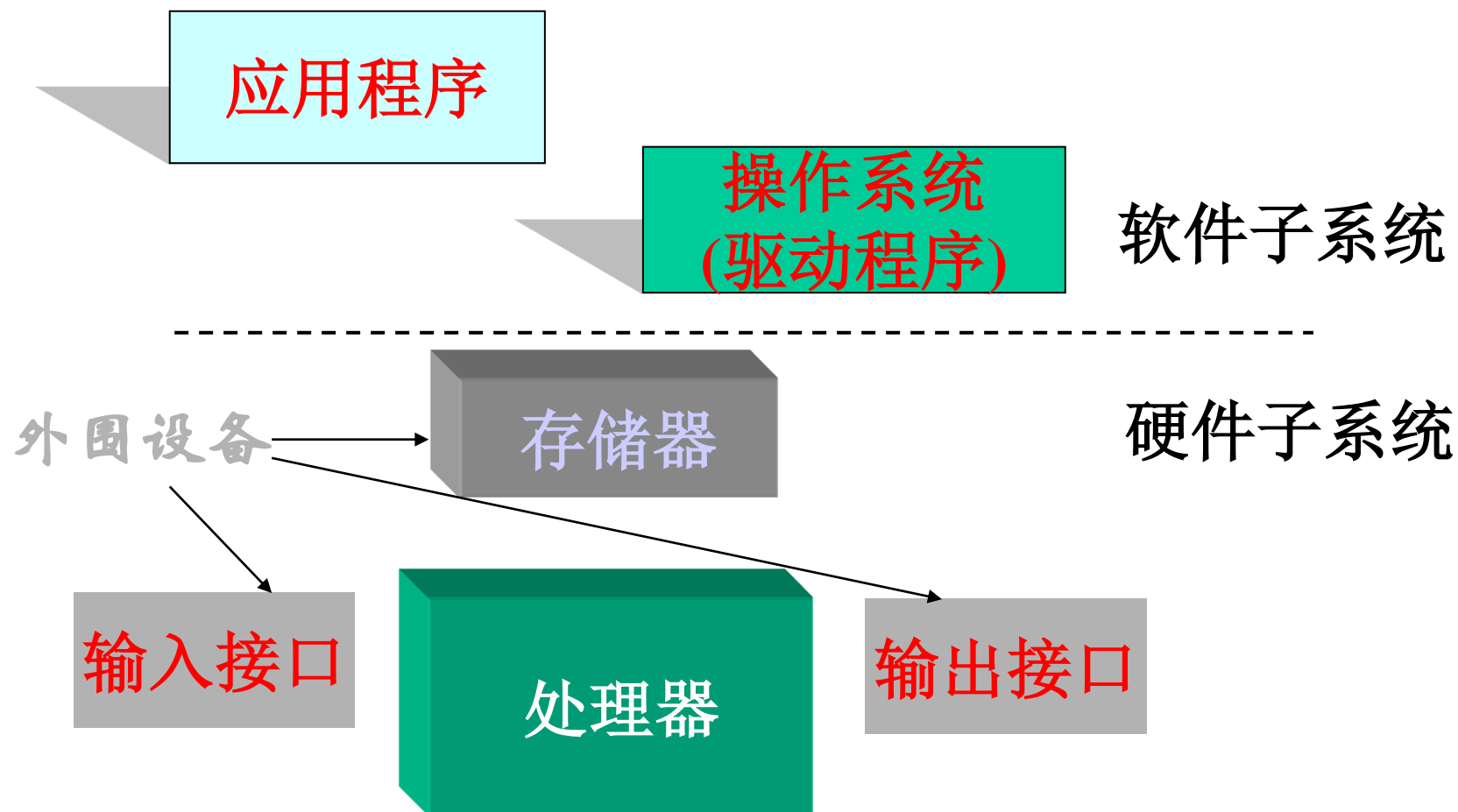
- **嵌入式系统的应用程序可以没有操作系统直接在芯片上运行。**
- **为了合理地调度多任务、利用系统资源、系统函数以及和专家库函数接口，用户必须自行选配RTOS（Real - Time Operating System）开发平台，这样才能保证程序执行的实时性、可靠性，并减少开发时间，保障软件质量。**

(6) 嵌入式系统需要开发工具和环境

- 由于其本身不具备自主开发能力，即使设计完成以后，用户通常也是不能对其中的程序功能进行修改，必须有一套开发工具和环境才能进行开发。
- 这些工具和环境一般是基于通用计算机上的软硬件设备以及各种逻辑分析仪、混合信号示波器等。
- 开发时往往有主机和目标机的概念，主机用于程序的开发，目标机作为最后的执行机，开发时需要交替结合进行。

嵌入式系统简介

嵌入式系统组成



嵌入式处理器

嵌入式系统的核心是嵌入式微处理器。嵌入式微处理器一般就具备以下4个特点

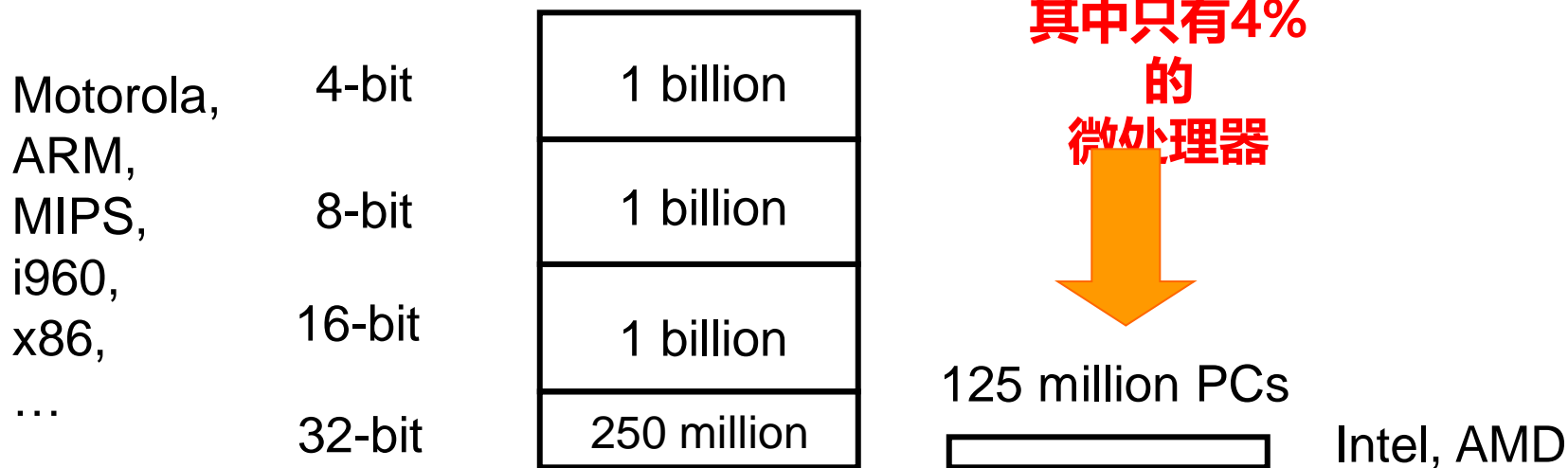
- **对实时多任务有很强的支持能力，能完成多任务并且有较短的中断响应时间，从而使内部的代码和实时内核的执行时间减少到最低限度。**
- **具有功能很强的存储区保护功能。这是由于嵌入式系统的软件结构已模块化，而为了避免在软件模块之间出现错误的交叉作用，需要设计强大的存储区保护功能，同时也有利于软件诊断。**
- **可扩展的处理器结构，以能最迅速地开发出满足应用的最高性能的嵌入式微处理器。**
- **嵌入式微处理器必须功耗很低，尤其是用于便携式的无线及移动的计算和通信设备中靠电池供电的嵌入式系统更是如此，如需要功耗只有mW甚至 μ W级。**

嵌入式微处理器

全世界只有4%的计算机处理芯片用于计算机中

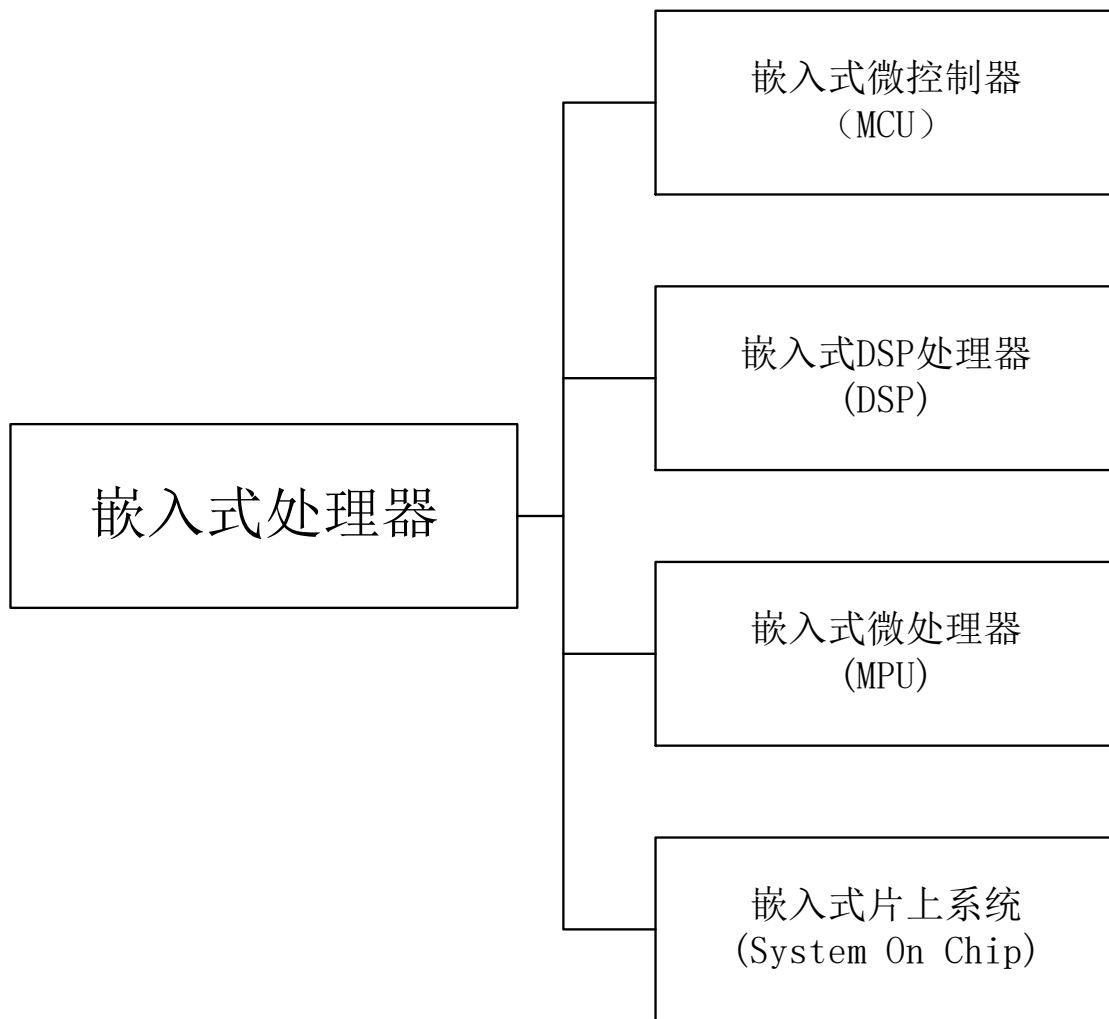
——Source: *Embedded Systems Programming*, May 1999

嵌入式微处理器



Average car has about 15 microprocessors.
Mercedes S-class: 63 microprocessors !!

嵌入式微处理器分类



(1) 嵌入式微控制器

- 嵌入式微控制器的典型代表是单片机，这种 8 位的电子器件目前在嵌入式设备中仍然有着极其广泛的应用。
- 单片机芯片内部集成ROM/EPROM、RAM、总线、总线逻辑、定时/计数器、看门狗、I/O、串行口、脉宽调制输出、A/D、D/A、Flash RAM、EEPROM等各种必要功能和外设。

- **微控制器的最大特点是单片化，体积大大减小，从而使功耗和成本下降、可靠性提高。**
- **微控制器是目前嵌入式系统工业的主流。微控制器的片上外设资源一般比较丰富，适合于控制，因此称为微控制器。**



(2) 嵌入式DSP处理器

- DSP处理器是专门用于信号处理方面的处理器，其在系统结构和指令算法方面进行了特殊设计，在数字滤波、FFT、谱分析等各种仪器上DSP获得了大规模的应用。
- DSP的理论算法在70年代就已经出现，但是由于专门的DSP处理器还未出现，所以这种理论算法只能通过MPU等由分立元件实现。1982年世界上诞生了首枚DSP芯片。在语音合成和编码解码器中得到了广泛应用。DSP的运算速度进一步提高，应用领域也从上述范围扩大到了通信和计算机方面。
- 目前最为广泛应用的嵌入式DSP处理器是TI的TMS320C2000/ C5000系列，另外如Intel的MCS-296和Siemens的TriCore也有各自的应用范围。

(3)、嵌入式微处理器 (Micro Processor Unit)

- MPU嵌入式微处理器是由通用计算机中的CPU演变而来的。
 -
- 与计算机处理器不同的是，在实际嵌入式应用中，只保留和嵌入式应用紧密相关的功能硬件，去除其他的冗余功能部分，这样就以最低的功耗和资源实现嵌入式应用的特殊要求。

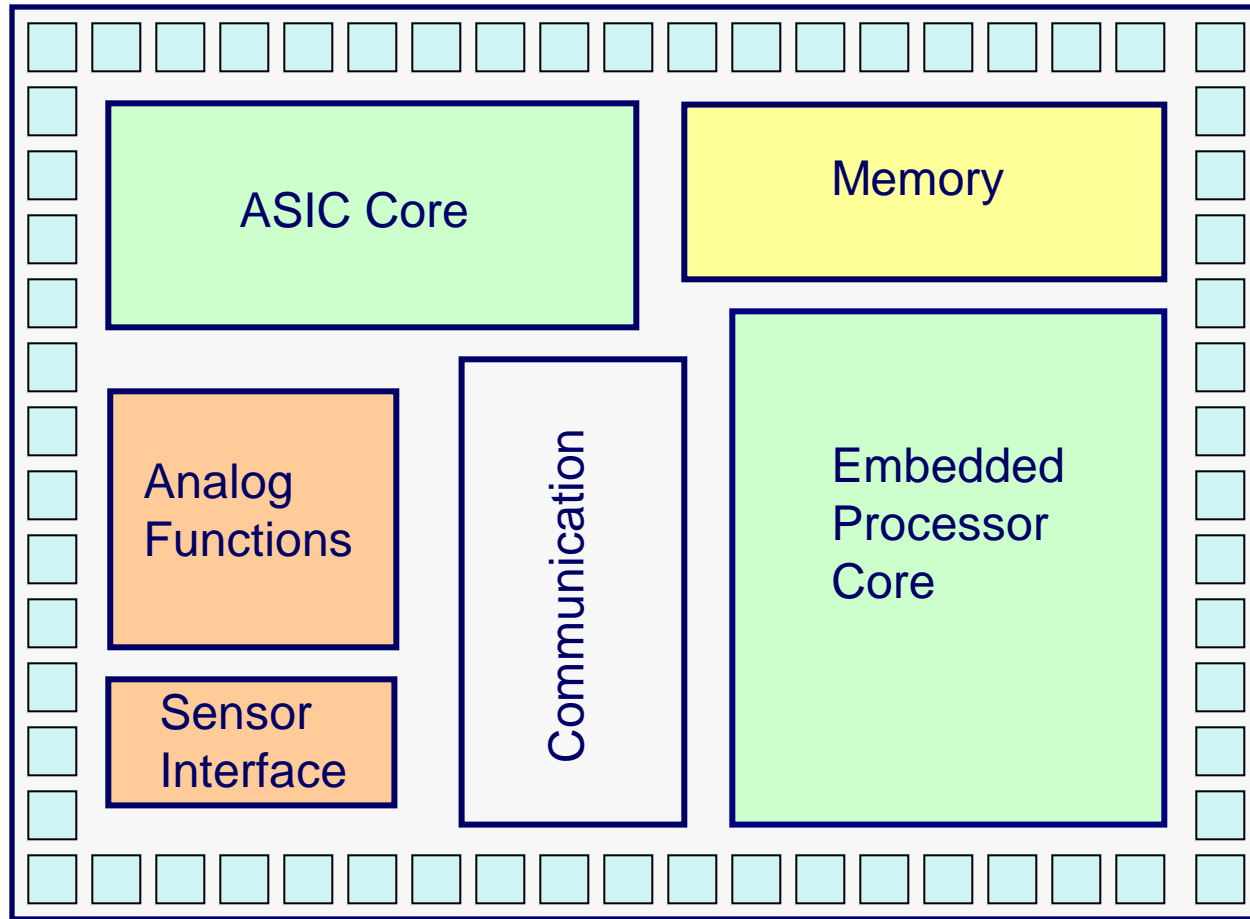
- 和工业控制计算机相比，嵌入式微处理器具有体积小、重量轻、成本低、可靠性高的优点。目前主要的嵌入式处理器类型有Am186/88、386EX、SC-400、Power PC、68000、MIPS、ARM/StrongARM系列等



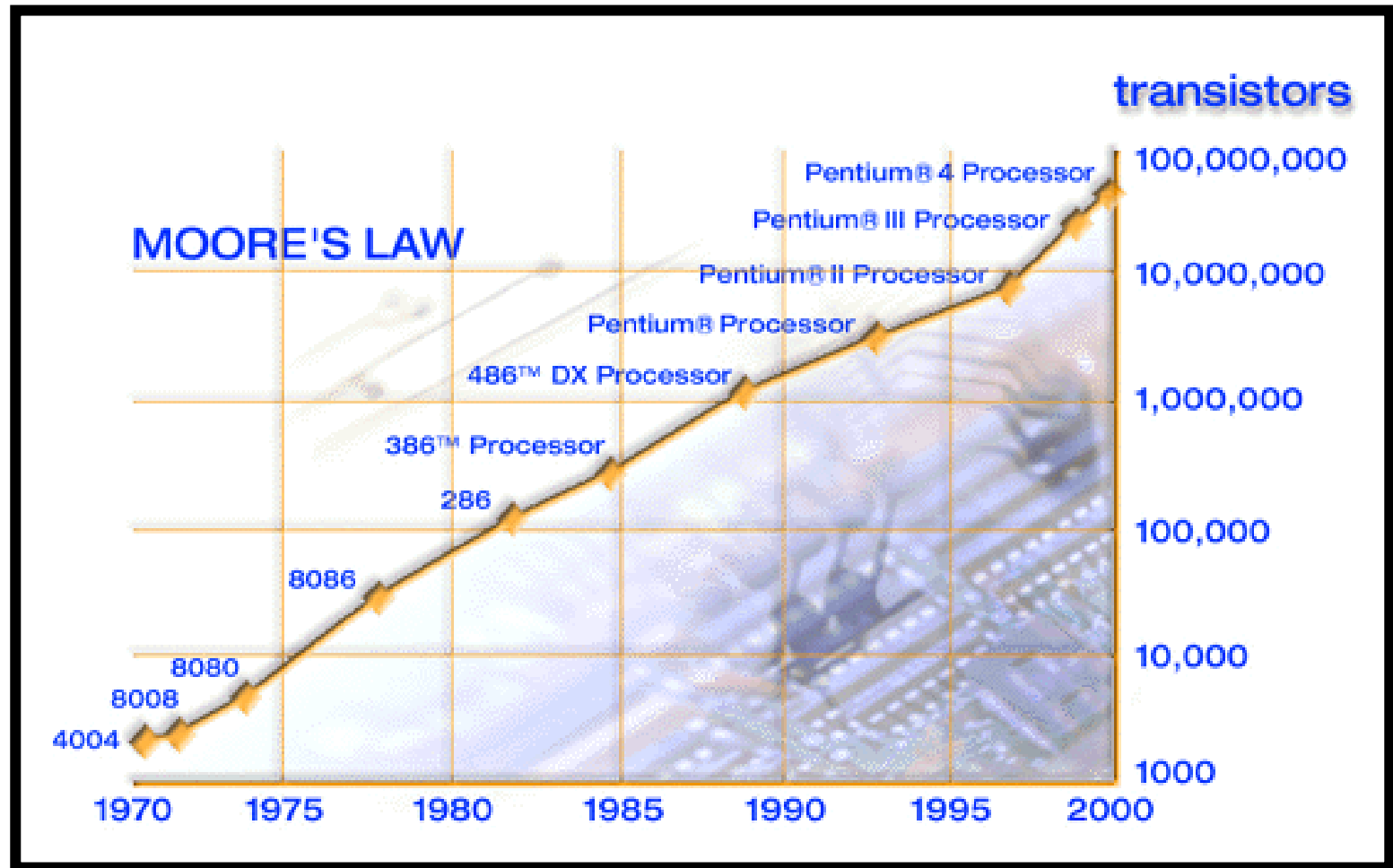
(4) 嵌入式片上系统(System On Chip)

- SoC 就是System on Chip , SoC嵌入式系统微处理器就是一种电路系统。
- 它结合了许多功能区块, 将功能做在一个芯片上, 像是ARM RISC、MIPS RISC、DSP或是其他的微处理器核心, 加上通信的接口单元, 像是通用串行端口 (USB)、TCP/IP通信单元、GPRS通信接口、GSM通信接口、IEEE1394、蓝牙模块接口等等, 这些单元以往都是依照各单元的功能做成一个个独立的处理芯片。

新的发展方向：SOC



Moore's 定律



RTOS（实时操作系统）是32位嵌入式CPU的软件基础

- RTOS内核 提供CPU的管理
 - 硬件初始化, MMU(存储器管理单元), 定时器, 中断
- RTOS内核提供任务, 内存管理
- RTOS提供设备管理, 文件和网络的支持
- RTOS提供C/C++, JAVA, 图形模块等编程接口

常见的嵌入式操作系统

实时嵌入式操作系统的种类繁多，大体上可分为两种，商用型和免费型。

- **商用型的实操作系统功能稳定、可靠，有完善的技术支持和售后服务，但往往价格昂贵 μ C/OS。**
- **免费型的实时操作系统在价格方面具有优势，目前主要有Linux和，稳定性与服务性存在挑战。**

VxWorks

- VxWorks操作系统是美国WindRiver公司于1983年设计开发的一种嵌入式实时操作系统（RTOS），具有良好的持续发展能力、高性能的内核以及友好的用户开发环境，在嵌入式实时操作系统领域牢牢占据着一席之地。
- VxWorks所具有的显著特点是：
 - 可靠性、实时性和可裁剪性。
 - 它支持多种处理器，如x86、i960、Sun Sparc、Motorola MC68xxx、MIPS、POWER PC等等。
- 大多数的VxWorks API是专有的，火星机器人。

Windows Embedded

- **Windows CE 3.0: 一种针对小容量、移动式、智能化、32位、连接设备的模块化实时嵌入式操作系统。**
- **针对掌上设备、无线设备的动态应用程序和服务提供了一种功能丰富的操作系统平台， WindowsCE嵌入但不够实时，属于软实时操作系统，**
- **由于其Windows背景，界面比较统一认可。**
- **操作系统的基本内核需要至少200K的ROM。**

Palm OS

- **Palm OS是著名的网络设备制造商3COM旗下的Palm Computing掌上电脑公司的产品。**
- **3COM、CISCO竞争**
- **Palm OS在PDA市场上占有很大的市场份额， Palm OS的市场份额占到将近90%， 最近下降70%， 目前主要与WIN CE进行激烈竞争。**

- 加拿大QNX公司的产品。
- QNX是在X86体系上面开发出来的，这和别的RTOS不一样，别的好多RTOS都是从68K的CPU上面开发成熟，然后再移植到X86体系上面来的。
- QNX是一个实时的、可扩充的操作系统，它部分遵循POSIX相关标准，由于QNX具有强大的图形界面功能，因此很适合作为机顶盒、手持设备（手掌电脑、手机）、GPS设备的实时操作系统使用。

嵌入式Linux

- 嵌入式系统越来越追求数字化、网络化和智能化。因此原来在某些设备或领域中占主导地位的软件系统越来越难以为继，整个系统必须是开放的、提供标准的API，并且能够方便地与众多第三方的软硬件沟通。
- Linux是开放源码的，不存在黑箱技术，遍布全球的众多Linux爱好者又是Linux开发的强大技术后盾。
- Linux的内核小、功能强大、运行稳定、系统健壮、效率高，易于定制剪裁，在价格上极具竞争力。
- Linux不仅支持x86 CPU，还可以支持其他数十种CPU芯片。

嵌入式Linux及应用

- **嵌入式Linux(Embedded Linux)是指对Linux经过小型化裁剪后, 能够固化在容量只有几百K字节或几兆字节的存储器芯片或单片机中, 应用于特定嵌入式场合的专用Linux操作系统。嵌入式Linux的开发和研究是目前操作系统领域的一个热点。主要有RTLinux和 μ CLinux**
- **Linux在嵌入式领域异军突起不过是近两年的事情, 过去的一年中有13%的用户已经开始使用嵌入式Linux系统进行开发工作; 有52%的用户决定在未来24个月内开始使用Linux作为嵌入式操作系统的开发原型。**

$\mu\text{C}/\text{OS}$ 及 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$

1、 $\mu\text{C}/\text{OS}$ ——Micro Controller OS，微控制器操作系统

2、 $\mu\text{C}/\text{OS}$ 简介

- 美国人Jean Labrosse 1992年完成
- 应用面覆盖了诸多领域，如照相机、医疗器械、音响设备、发动机控制、高速公路电话系统、自动提款机等
- 1998年 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ ，目前的版本 $\mu\text{C}/\text{OS-II V2.61}$ ，2.72
- 2000年，得到美国航空管理局（FAA）的认证，可以用于飞行器中
- 网站www.ucos-ii.com (www.micrium.com)

嵌入式系统与单片机、PC相比的优势

- 采用32位RISC嵌入式微处理器和实时操作系统组成的嵌入式控制系统，与传统基于单片机的控制系统和基于PC的控制方式相比，具有以下突出优点：
 - ◆ **性能方面：**采用32位RISC结构微处理器，主频从30MHz到200MHz以上，处理能力大大超出单片机系统，接近PC机的水平，但体积更小，能够真正地“嵌入”到设备中；
 - ◆ **实时性方面：**嵌入式控制器内嵌实时操作系统（RTOS），能够完全保证控制系统的强实时性；
 - ◆ **人机交互方面：**嵌入式控制器可支持大屏幕的液晶显示器，提供功能强大的图形用户界面，这方面与PC机相比毫不逊色；
 - ◆ **系统升级方面：**嵌入式控制器可为控制系统专门设计，其功能专一，成本较低，而且开放的用户程序接口（API）保证了系统能够快速升级和更新。

嵌入式系统与单片机、PC机的区别

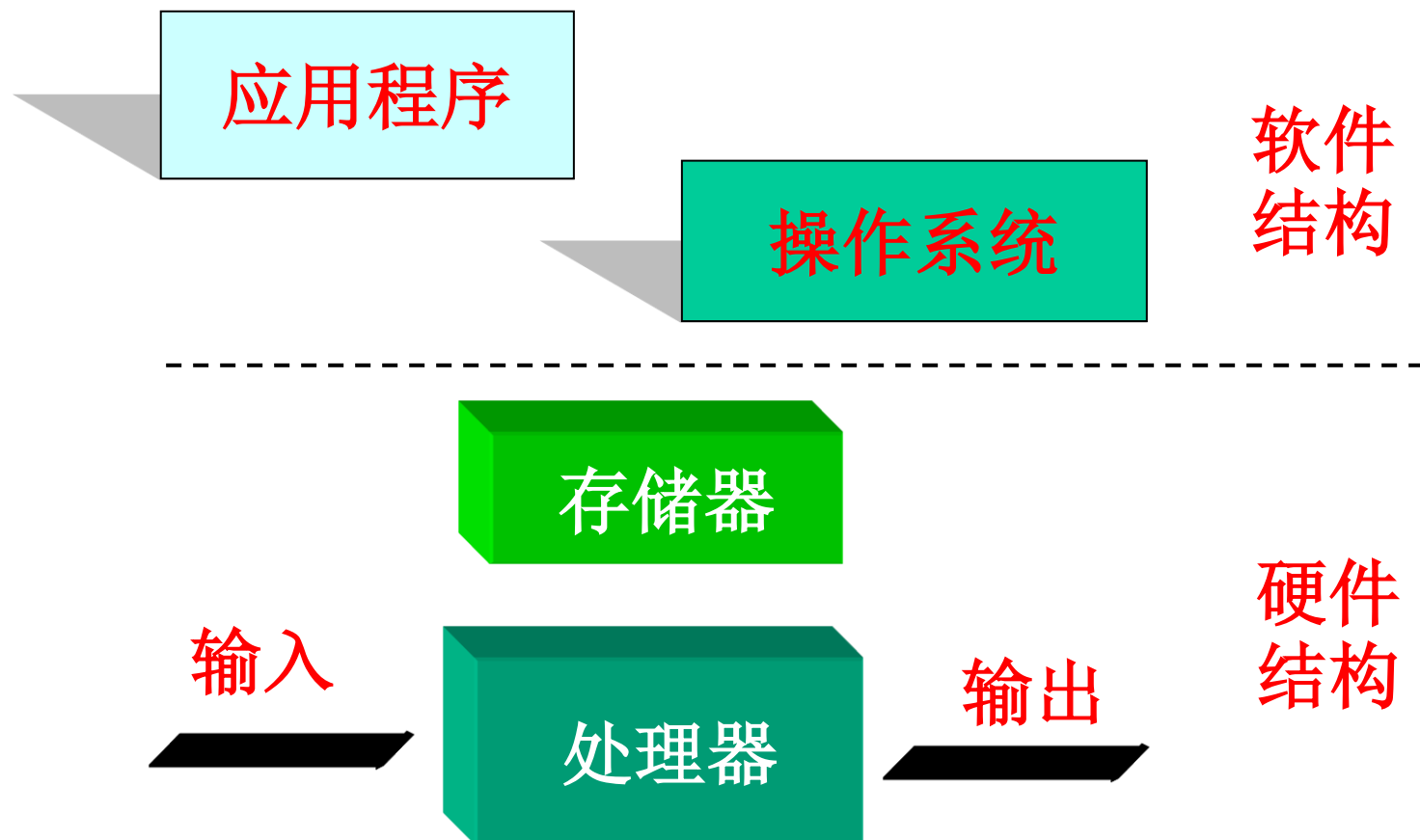
嵌入式系统 \neq 单片机系统

- 目前嵌入式系统的主流是以32位嵌入式微处理器为核心的硬件设计和基于实时操作系统（RTOS）的软件设计
- 单片机系统多为4位、8位、16位机，不适合运行操作系统，难以进行复杂的运算及处理功能
- 嵌入式系统强调基于平台的设计、软硬件协同设计，单片机大多采用软硬件流水设计
- 嵌入式系统设计的核心是软件设计（占70%左右的工作量），单片机系统软硬件设计所占比例基本相同

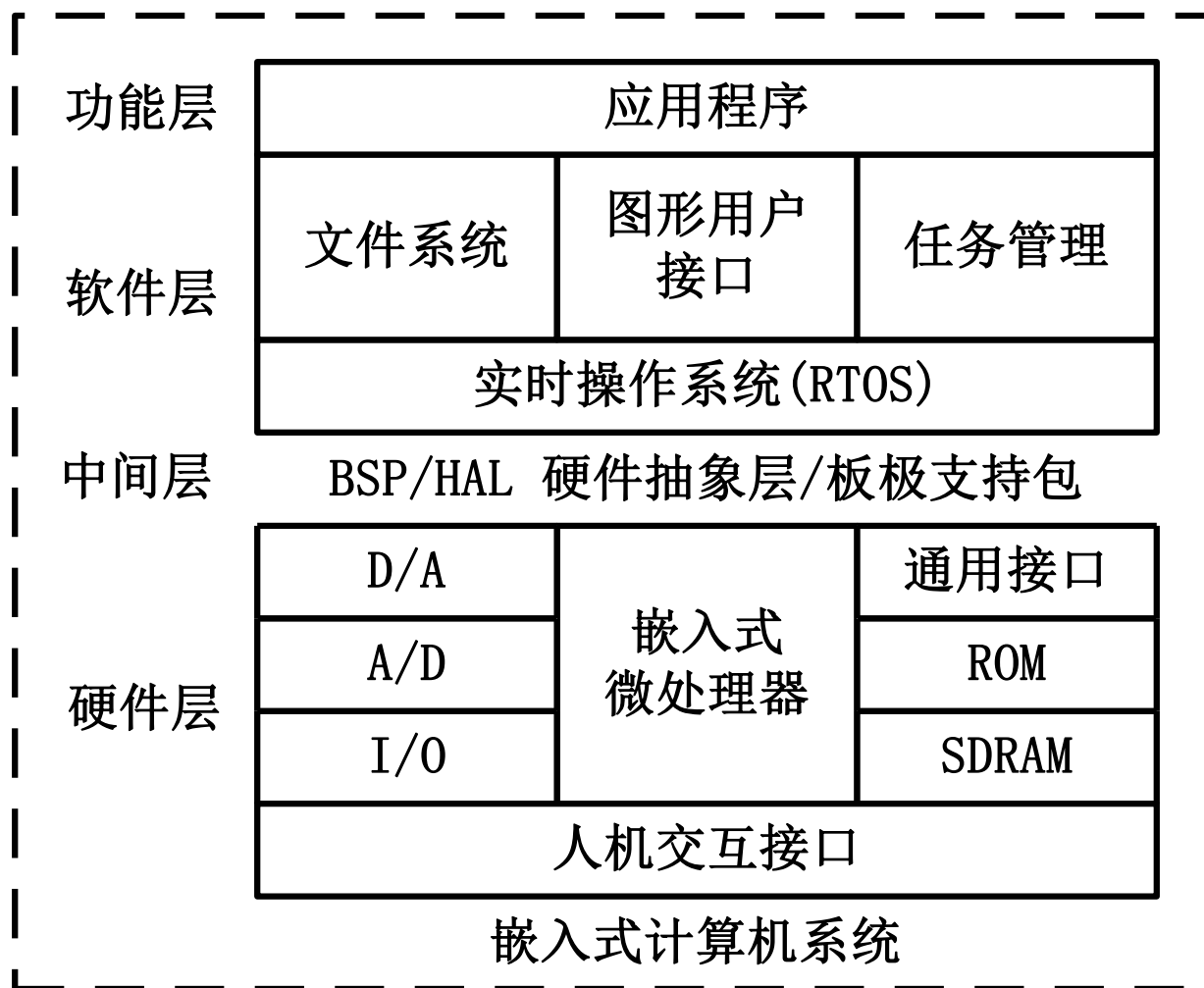
嵌入式系统 \neq PC机

- 嵌入式系统一般是专用系统，而PC是通用计算平台
- 嵌入式系统的资源比PC少得多
- 嵌入式系统软件故障带来的后果比PC机大得多
- 嵌入式系统一般采用实时操作系统
- 嵌入式系统大都有成本、功耗的要求
- 嵌入式系统得到多种微处理体系的支持
- 嵌入式系统需要专用的开发工具

嵌入式系统的组成

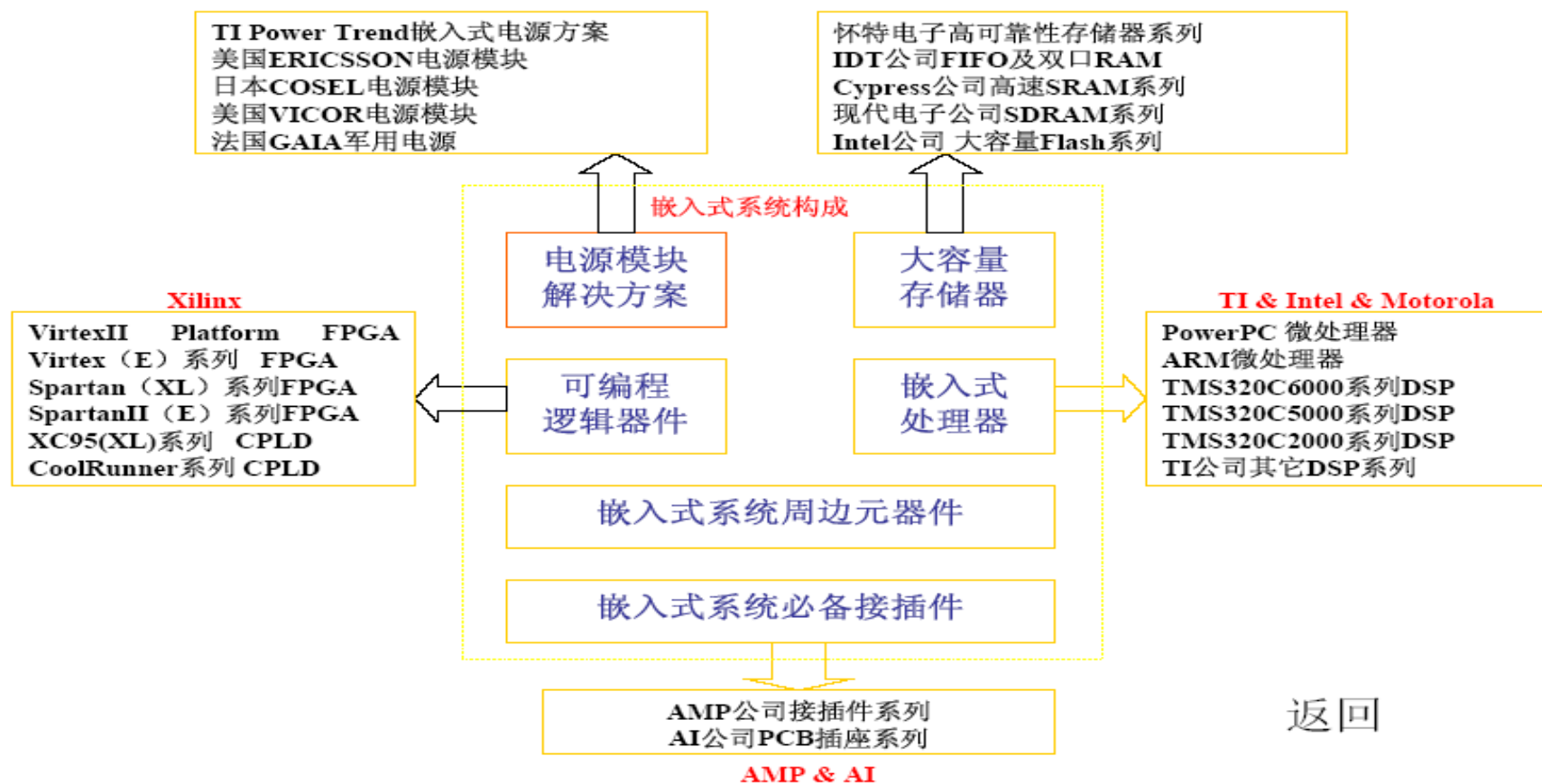


嵌入式系统的软/硬件框架



嵌入式系统简介

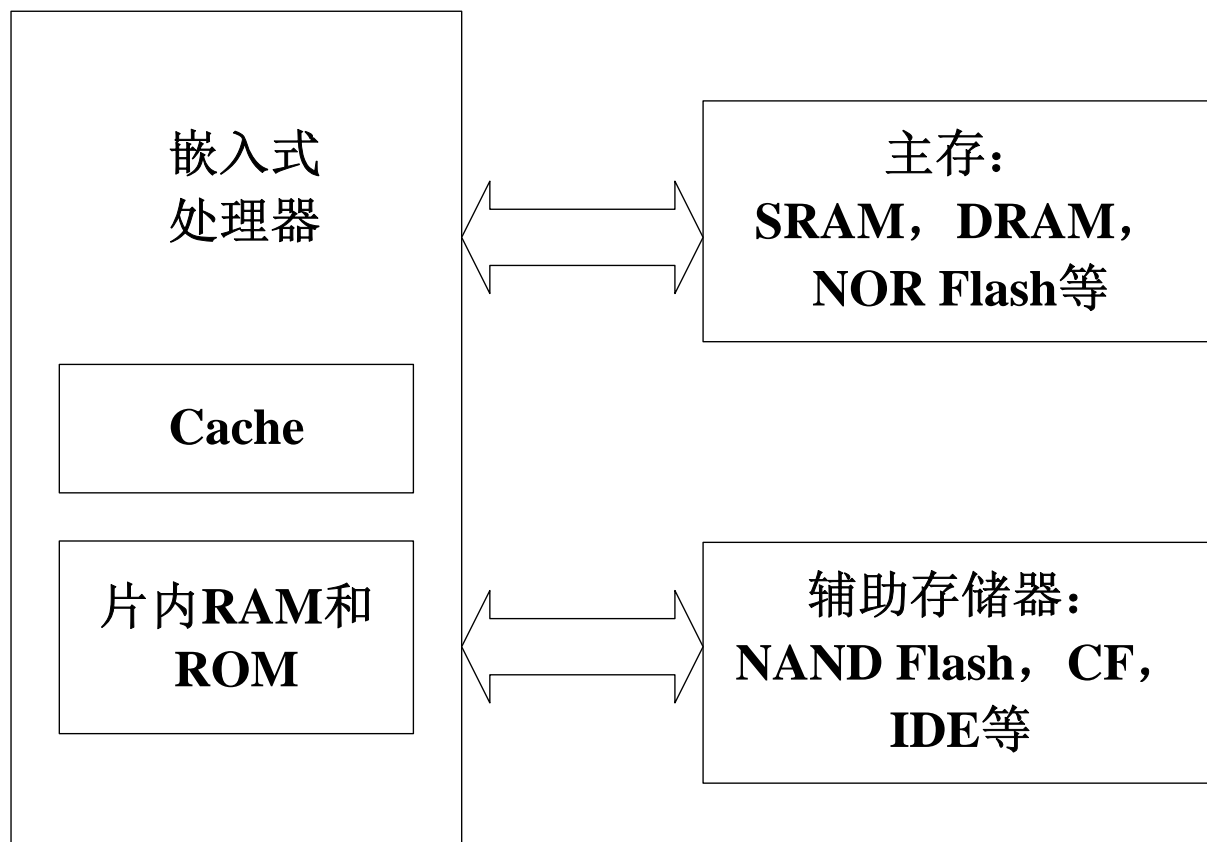
嵌入式系统硬件



嵌入式系统简介

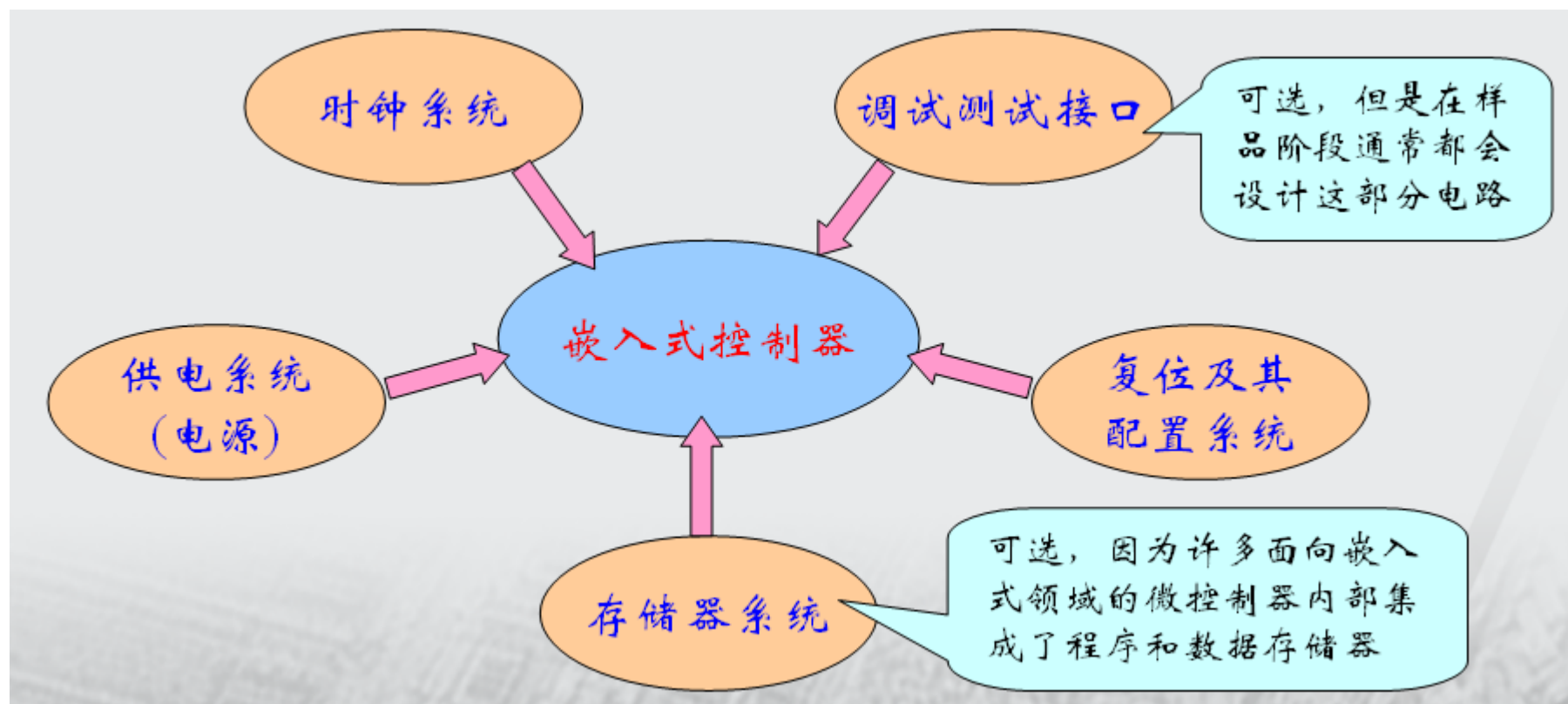
- 嵌入式外围设备
 - 在嵌入式硬件系统中，除了嵌入式处理器之外的完成存储、通信、I/O、调试等功能的其它部件。
- 分类
 - 存储器类型：静态易失型存储器(RAM/SRAM)，动态存储器(DRAM)，非易失型存储器(ROM、EPROM、EEPROM、FLASH)。其中，FLASH(闪存)以可擦写次数多，存储速度快，容量大及价格便宜等有点在嵌入式领域得到广泛的应用。
 - 接口类型：目前存在的所有接口在嵌入式系统中都有其广泛的应用，但是以下几种接口的应用最为广泛，包括RS-232接口(串口)、IrDA(红外)、SPI(串行设备接口)、I²C、USB、Ethernet和普通并口。
 - 显示类型：CRT、LCD和触摸屏等外围显示设备。

嵌入式存储系统简介

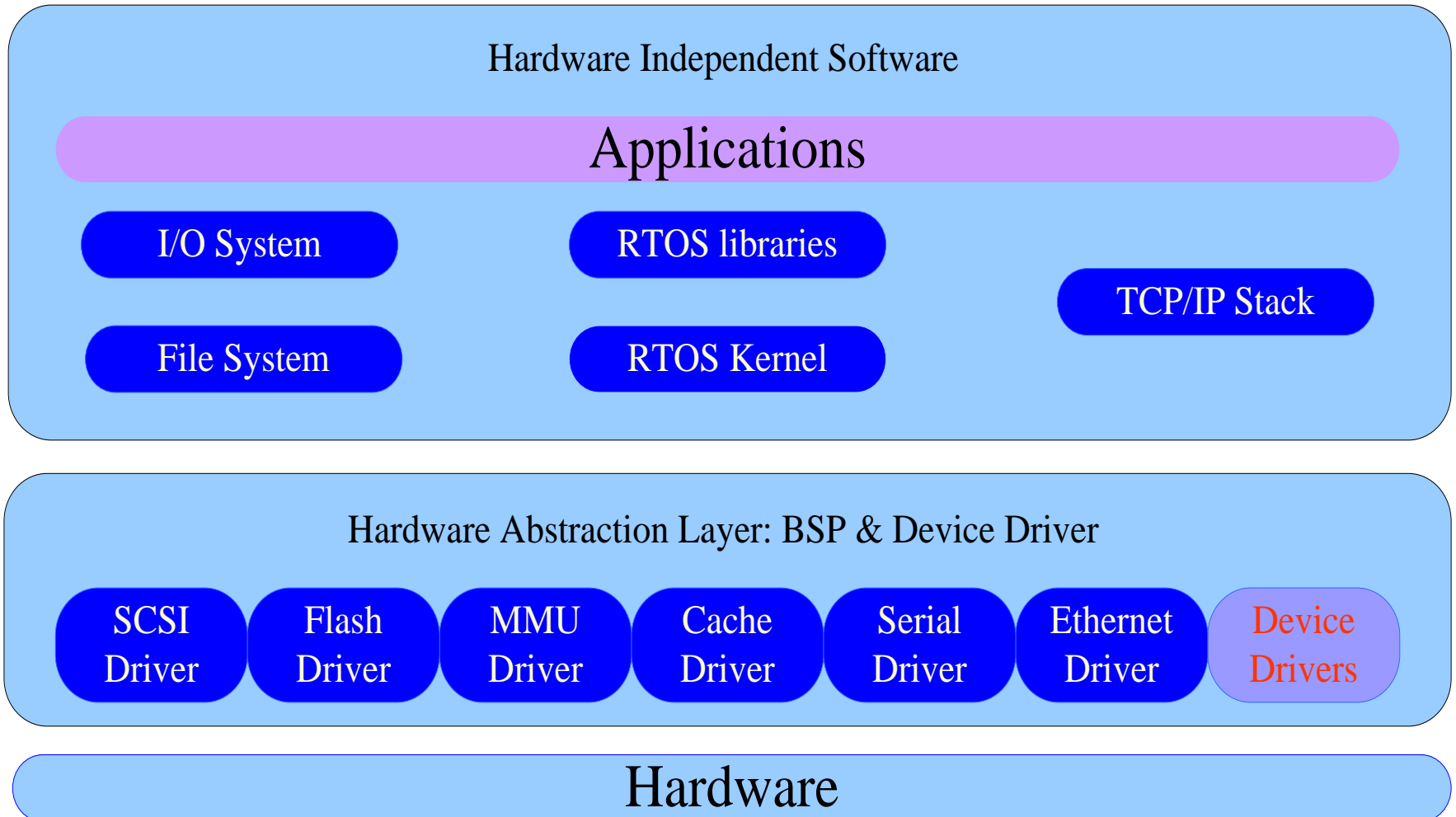


嵌入式系统简介

- 最小硬件系统



嵌入式系统软件体系



嵌入式操作系统

特点:

- 可装卸性。开放性、可伸缩性的体系结构。
- 强实时性。**EOS**实时性一般较强，可用于各种设备控制当中。
- 统一的接口。提供各种设备驱动接口。
- 操作方便、简单、提供友好的图形**GUI**，图形界面，追求易学易用。
- 提供强大的网络功能，支持**TCP/IP**协议及其它协议，提供**TCP/UDP/IP/PPP**协议支持及统一的**MAC**访问层接口，为各种移动计算设备预留接口。
- 强稳定性，弱交互性。嵌入式系统一旦开始运行就不需要用户过多的干预，这就要负责系统管理的**EOS**具有较强的稳定性。嵌入式操作系统的用户接口一般不提供操作命令，它通过系统的调用命令向用户程序提供服务。
- 固化代码。在嵌入式系统中，嵌入式操作系统和应用软件被固化在嵌入式系统计算机的**ROM**中。辅助存储器在嵌入式系统中很少使用，因此，嵌入式操作系统的文件管理功能应该能够很容易地拆卸，而用各种内存文件系统。
- 更好的硬件适应性，也就是良好的移植性。

硬件抽象层

- 硬件层和软件层之间为中间层，也称为硬件抽象层（**Hardware Abstract Layer, HAL**）或板级支持包(**Board Support Package, BSP**)。它将系统上层软件与底层硬件分离开来，使得系统的底层驱动程序与硬件无关，上层软件开发人员无须关心底层硬件的具体情况，根据**BSP**层提供的接口即可进行开发。该层一般包含相关底层硬件的初始化、数据的输入/输出操作和硬件设备的配置等功能。**BSP**具有以下两个特点：
 - 硬件相关性：因为嵌入式实时系统的硬件环境具有应用相关性，而作为上层软件与硬件平台之间的接口，**BSP**需要为操作系统提供操作和控制具体硬件的方法。
 - 操作系统相关性：不同的操作系统具有各自的软件层次结构，因此，不同的操作系统具有特定的硬件接口形式。

设备驱动程序

- 所谓的设备驱动程序，就是一组库函数，用来对硬件进行初始化和管
理，并向上层软件提供良好的访问接口。
- 大多数的设备驱动程序都会具备以下的一些基本功能。
 - 硬件启动：在开机上电或系统重启的时候，对硬件进行初始化；
 - 硬件关闭：将硬件设置为关机状态；
 - 硬件停用：暂停使用这个硬件；
 - 硬件启用：重新启用这个硬件；
 - 读操作：从硬件中读取数据；
 - 写操作：往硬件中写入数据。

嵌入式文件系统

嵌入式文件系统具有以下特点：

- 兼容性：嵌入式文件系统通常支持几种标准的文件物理结构，如**FAT32**、**JFFS2**、**YAFFS**等。
- 实时文件系统：除支持标准的文件物理结构外，为提高实时性，有些嵌入式文件系统还支持自定义的实时文件系统，这些文件系统一般采用连续文件的方式存储文件。
- 可裁减、可配置：可根据嵌入式系统的要求选择所需的文件物理结构，可选择所需的存储介质，配置可同时打开的最大文件数等。
- 支持多种存储设备：嵌入式系统的外存形式多样，嵌入式文件系统需方便的挂接不同存储设备的驱动程序，具有灵活的设备管理能力。同时根据不同外部存储器的特点，嵌入式文件系统还需考虑其性能、寿命等因素，发挥不同外存的优势，提高存储设备的可靠性和使用寿命。

嵌入式图形用户界面

嵌入式系统中的图形界面的几种解决方案：

- 针对特定的图形设备输出接口，自行开发相应的功能函数；
- 购买针对特定嵌入式系统的图形中间软件包；
- 采用源码开放的嵌入式**GUI**支持系统；
- 使用独立软件开发商提供的嵌入式**GUI**产品。

谢谢！