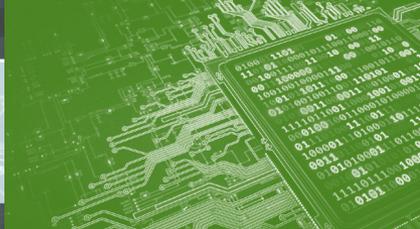
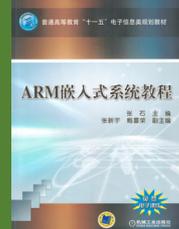




江苏师范大学 电气工程及其自动化学院  
JIANGSU NORMAL UNIVERSITY SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING & AUTOMATION



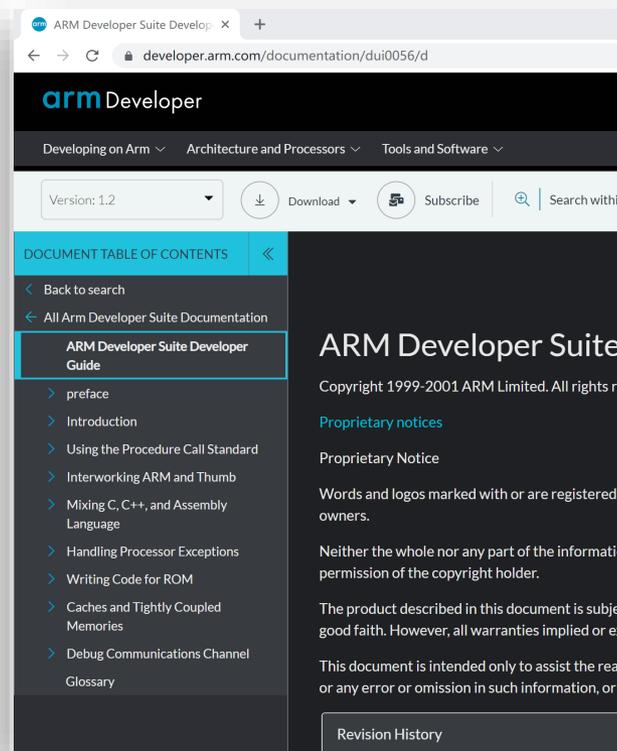
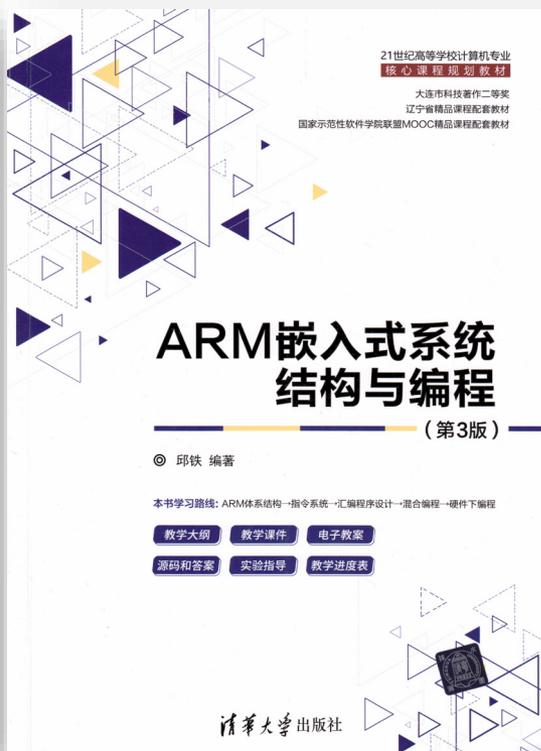
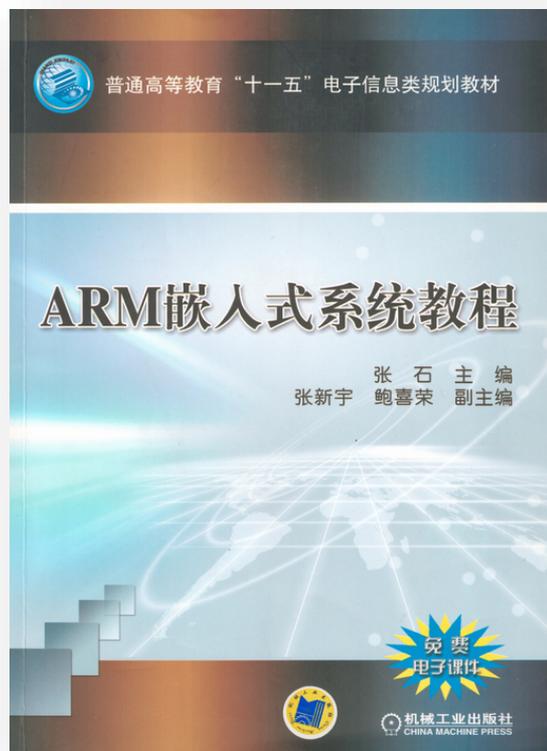
# 第1章 嵌入式系统概述

李灿 | 12#407A | [lic@jsnu.edu.cn](mailto:lic@jsnu.edu.cn) | <https://sslic.cn/es>



# 0.1 参考教材

- 《ARM嵌入式系统教程》，张石，机械工业出版社
- 《ARM嵌入式系统结构与编程》，邱铁，清华大学出版社
- 《ARM Developer Suite: Assembler Guide》，ARM Ltd.





## 0.2 课程内容

### ■ 先修课程

- ✧ 单片机/微机原理（基本概念）
- ✧ C语言（函数、指针、结构）
- ✧ 计算机操作系统\*
- ✧ 电子技术基础\*

### ■ 基础知识

- ✧ 了解单片机和操作系统的基本概念
- ✧ 熟练使用C语言编程
- ✧ 了解硬件、软件及软硬件协同的基本概念和思想

# 0.2 课程内容



图0.1 嵌入式技术学习路线图

- **嵌入式系统初学者主线一：**  
ARM体系结构 → 指令系统 → 汇编程序设计 → 混合编程 → 硬件下编程
- **嵌入式系统初学者主线二：**  
MCU结构与资源 → 库函数 → C语言编程 → 库函数编程 → 硬件下编程



# 0.2 课程内容

## ■ 理论教学：3~8周

周次	章节内容
3	<p><b>第1章 嵌入式系统概述</b> <b>第2章 ARM体系结构</b></p> <p>2.1 RISC技术和流水线技术      2.2 ARM体系结构简介      2.3 ARM处理器工作状态 2.4 ARM处理器工作模式      2.5 ARM处理器寄存器组织      2.6 ARM异常</p>
4	<p>2.7 ARM存储器和存储器映射I/O      2.8 ARM总线技术 2.9 ARM存储系统      2.10 基于JTAG的调试系统</p> <p><b>第3章 ARM指令系统</b></p> <p>3.1 ARM指令集概述      3.2 ARM指令寻址方式      3.3 ARM指令分类介绍</p>
5	<p><b>第4章 ARM汇编程序设计</b></p> <p>4.1 ARM汇编语言语句格式      4.2 ARM汇编伪操作      4.3 ARM汇编语言伪指令 4.4 ARM汇编语言中的符号      4.5 ARM汇编语言中的表达式</p>
6	<p>4.6 ARM汇编语言程序结构      4.7 汇编语言子程序调用 4.8 C语言和汇编语言混合编程</p>
7	<p>4.9 ARM汇编语言设计实例(续) <b>第5章 XScale内核及PXA270处理器简介</b></p>
8	<p><b>第6章 PXA270实验教学系统设计及应用程序设计实例</b> <b>第7章 嵌入式Linux</b></p>



# 0.2 课程内容

## ■ 实验教学：9~10周

实验名称	学时	实验目的和要求	实验类型
实验一 汇编语言程序设计	2	熟悉A8实验系统的硬件构成和软件编程环境； 掌握arm汇编语言指令和编程的方法。	设计
实验二 C语言对硬件操作程序设计	2	掌握C语言编程方法； 掌握硬件操作的方法。	设计
实验三 U-boot指令综合实验	2	了解BootLoader在嵌入式系统中的作用； 掌握u-boot的基本指令及作用。	综合
实验四 Linux程序设计	2	掌握Linux的基本知识； 掌握Linux环境下的编程方法。	设计



## 0.3 课程安排

### ■ 课时安排：

✧ 理论：32/40学时

✧ 实验：8学时

### ■ 实验工具：

✧ Keil4仿真环境（编程练习）

✧ A8-S5PV210实验系统（综合实验）

### ■ 作业安排：

✧ 6次左右

如无特殊情况，不接收迟交的作业，迟交或不交当次作业按0分计算



## 0.4 课程考核

■ **综合成绩（满分100分） = 平时 + 实验 + 期末**

- 1. 平时成绩：作业、出勤、课堂提问、讨论情况等，占20%~30%**
- 2. 实验成绩：上机操作、实验报告等，占10%**
- 3. 期末成绩：闭卷考试，占70%~60%**
- 4. 迟到1次平时分扣1-4分，旷课1次平时分扣5分**
- 5. 回答一次问题，酌情加1-2分**
- 6. 注意：**
  - 20电11，平时20%，期末70%
  - 20通信，平时30%，期末60%



# 章节内容

- 嵌入式系统的概念
- 嵌入式系统的特点
- 嵌入式系统的应用
- 嵌入式系统的组成
- 嵌入式处理器
- 嵌入式操作系统
- 嵌入式系统开发工具
- 嵌入式技术的发展趋势



# 章节内容

- **嵌入式系统的概念**
- 嵌入式系统的特点
- 嵌入式系统的应用
- 嵌入式系统的组成
- 嵌入式处理器
- 嵌入式操作系统
- 嵌入式系统开发工具
- 嵌入式技术的发展趋势

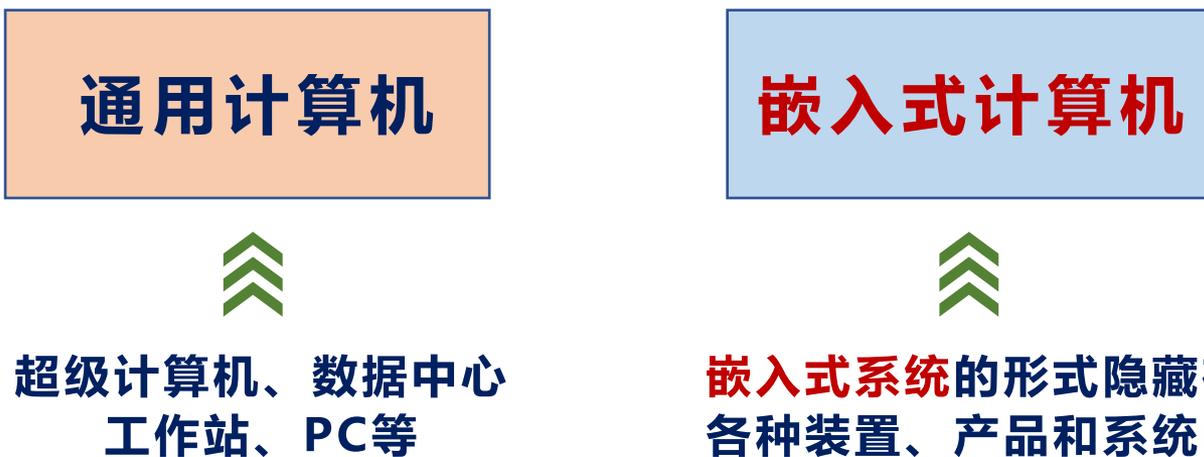


# 1.1 嵌入式系统的概念

## ■ 传统计算机分类：体系结构、运算速度、结构规模、适用领域



## ■ 现代计算机分类：以应用为中心





# 1.1 嵌入式系统的概念





# 1.1 嵌入式系统的概念

## ■ 嵌入式系统定义

- ✧ **IEEE**: Devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants.
- ✧ **国内**: 以应用为中心、以计算机技术为基础，软硬件可裁剪，应用于对功能、可靠性、成本、体积、功耗和应用环境有特殊要求的专用计算机系统。
  - **技术角度**: 将应用程序、操作系统和计算机硬件集成在一起的系统；
  - **系统角度**: 完成复杂功能的硬件和软件紧密耦合在一起的系统；
  - **术语角度**: 更大系统（被称之为嵌入的系统）的一个完整子系统——嵌入式的系统可以包含多个嵌入式系统。



# 1.1 嵌入式系统的概念

## ■ 嵌入式系统定义

- ✧ **IEEE**: Devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants.
- ✧ **国内**: 以应用为中心、以计算机技术为基础，软硬件可裁剪，应用于对功能、可靠性、成本、体积、功耗和应用环境有特殊要求的专用计算机系统。
- ✧ **微机学会**: 以嵌入式应用为目的的计算机系统
  - **系统级**: 各种类型的工控机、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



# 1.1 嵌入式系统的概念

## ■ 嵌入式系统定义

- ✧ **IEEE**: Devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants.
- ✧ **国内**: 以应用为中心、以计算机技术为基础，软硬件可裁剪，应用于对功能、可靠性、成本、体积、功耗和应用环境有特殊要求的专用计算机系统。
- ✧ **微机学会**: 以嵌入式应用为目的的计算机系统
- ✧ **通俗**: 任何一个非计算机的计算系统
- ✧ **广义**: 任何带有微处理器的专用软硬件系统，如单片机、DSP
- ✧ **狭义**: 使用嵌入式微处理器构成独立系统，具有自己的操作系统，具有特定功能，用于特定场合的嵌入式系统——本课程



# 章节内容

- 嵌入式系统的概念
- **嵌入式系统的特点**
- 嵌入式系统的应用
- 嵌入式系统的组成
- 嵌入式处理器
- 嵌入式操作系统
- 嵌入式系统开发工具
- 嵌入式技术的发展趋势



# 1.2 嵌入式系统的特点

## ■ 通用计算机行业垄断

✧ Intel

✧ AMD

## ■ 嵌入式系统行业，高度分散

✧ ARM (IP授权)

✧ MIPS

✧ Power PC

✧ Intel ATOM

✧ ...



# 1.2 嵌入式系统的特点

## 专用计算机系统

- ◇ 面向特定任务
- ◇ 面向用户
- ◇ 面向产品
- ◇ 面向应用
- ◇ 软硬件高效
- ◇ 量体裁衣

## 生命周期较长

- ◇ 与产品同步
- ◇ 受市场影响
- ◇ 软件可继承
- ◇ 技术可衔接

## 对软件要求较高

- ◇ 固态化存储
- ◇ 代码高质量
- ◇ 代码高可靠
- ◇ OS高实时性——多任务

## 实时操作系统 专用开发工具

- ◇ 对比通用计算机
- ◇ 需实时、可靠
- ◇ 无自主开发能力



# 章节内容

- 嵌入式系统的概念
- 嵌入式系统的特点
- **嵌入式系统的应用**
- 嵌入式系统的组成
- 嵌入式处理器
- 嵌入式操作系统
- 嵌入式系统开发工具
- 嵌入式技术的发展趋势



## 1.3 嵌入式系统的应用

- **家电：**洗衣机、微波炉、洗碗机、智能电视、扫地机器人等
- **汽车：**安全气囊系统、GPS、防抱死制动系统、燃油喷射控制器等
- **办公：**打印机、扫描仪、录音笔、电纸书等
- **娱乐：**智能玩具、VR、平板电脑等
- **安全：**楼宇安全系统、人脸识别、机场安全系统、报警系统等
- **工业：**电压、电流检测系统、数据采集系统、装配线、压力监测系统
- **航空航天：**飞行姿态控制器、太空机器人、自动着陆系统、导航系统等
- **医疗：**心电图、核磁共振、脑电图、血压监测仪、血糖监测仪等
- **金融：**收银机、自动售货机、ATM等
- **通讯：**智能手机、网络摄像头、路由器、智能手表（穿戴）等



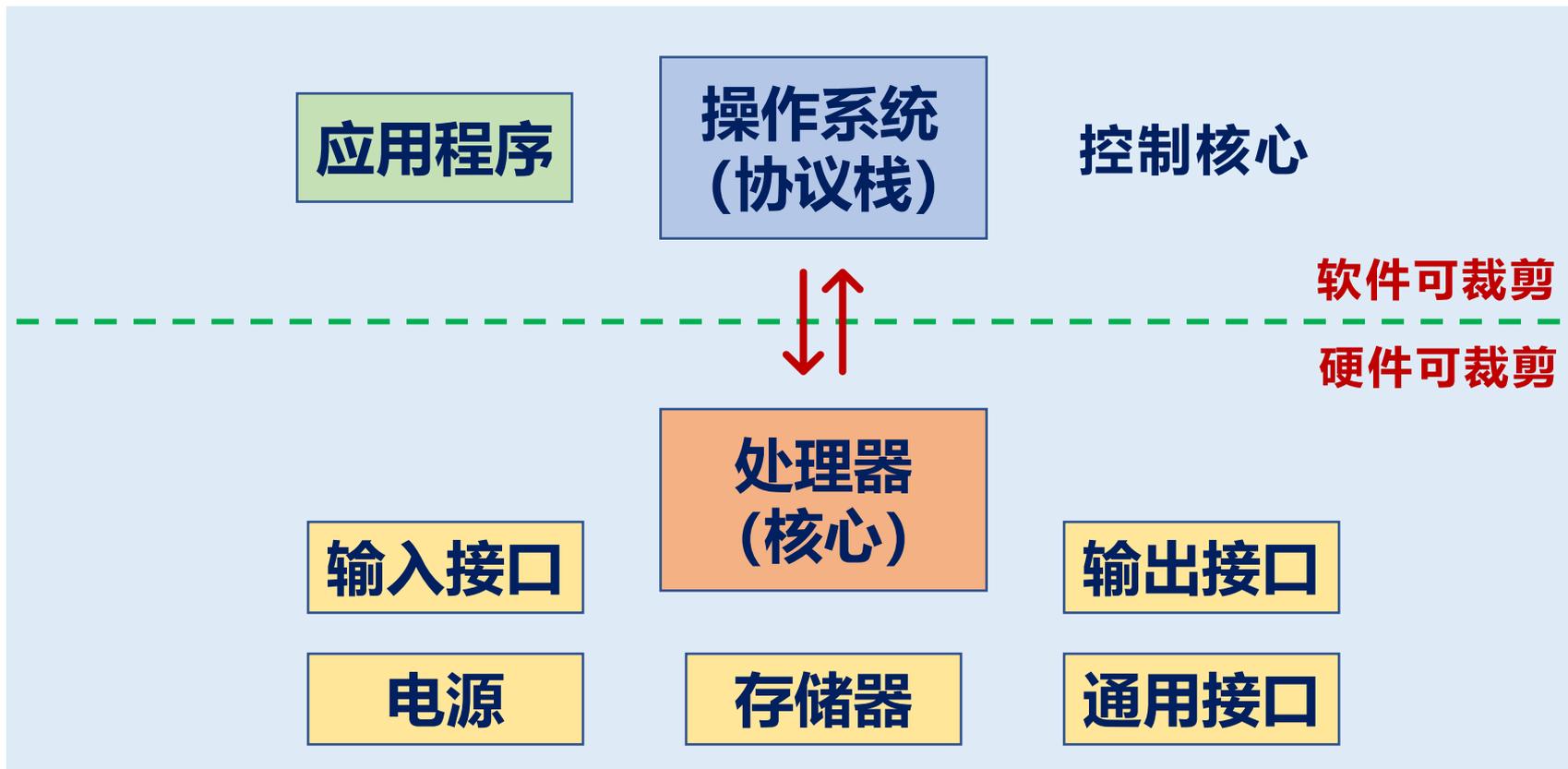
# 章节内容

- 嵌入式系统的概念
- 嵌入式系统的特点
- 嵌入式系统的应用
- **嵌入式系统的组成**
- 嵌入式处理器
- 嵌入式操作系统
- 嵌入式系统开发工具
- 嵌入式技术的发展趋势



# 1.4 嵌入式系统的组成

■ **软件子系统**：应用程序+操作系统（驱动程序）

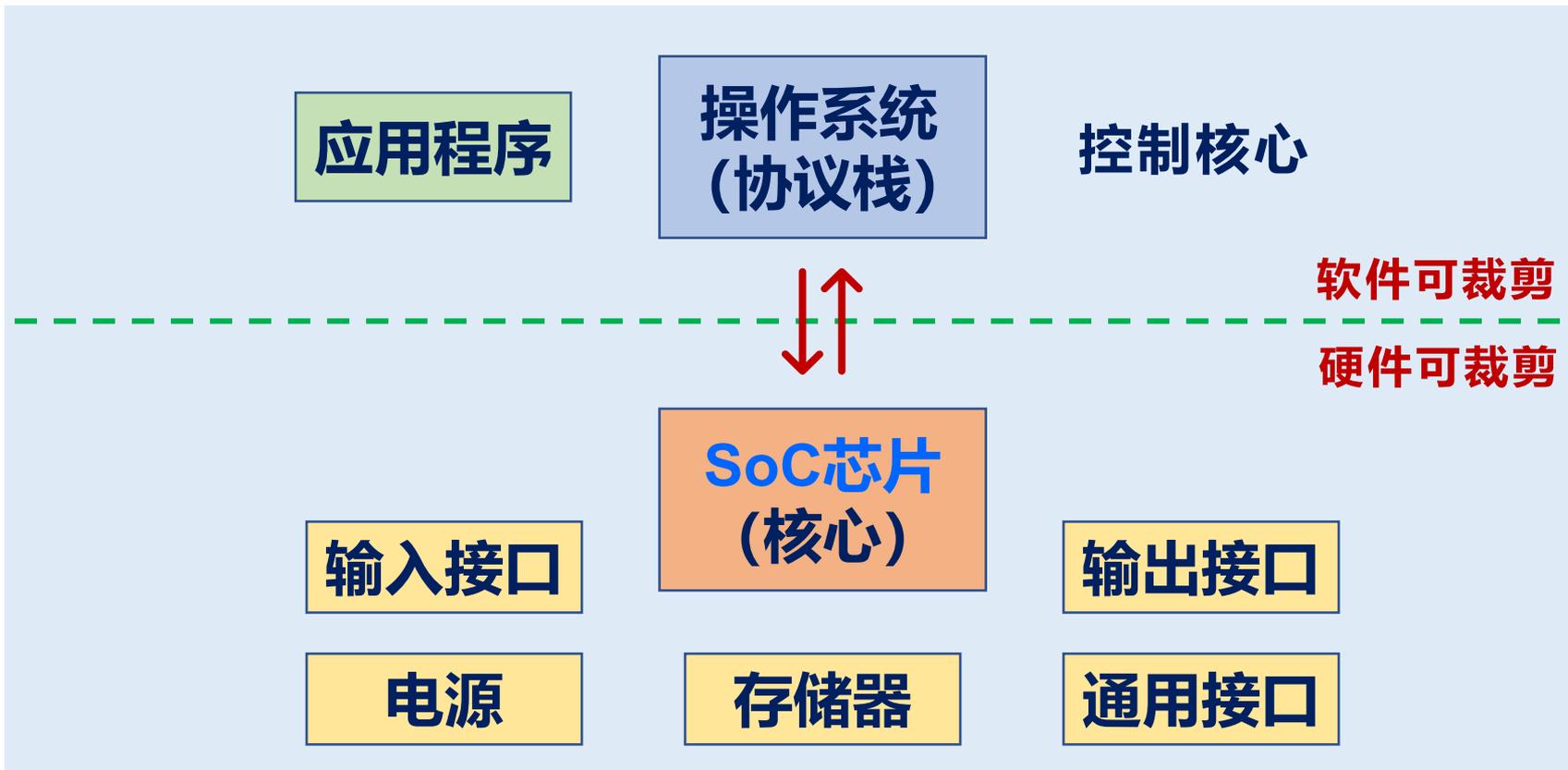


■ **硬件子系统**：处理器+基本外围电路+定制化功能模块



# 1.4 嵌入式系统的组成

■ **软件子系统**：应用程序+操作系统（驱动程序）



■ **硬件子系统**：SoC芯片+基本外围电路+功能接口



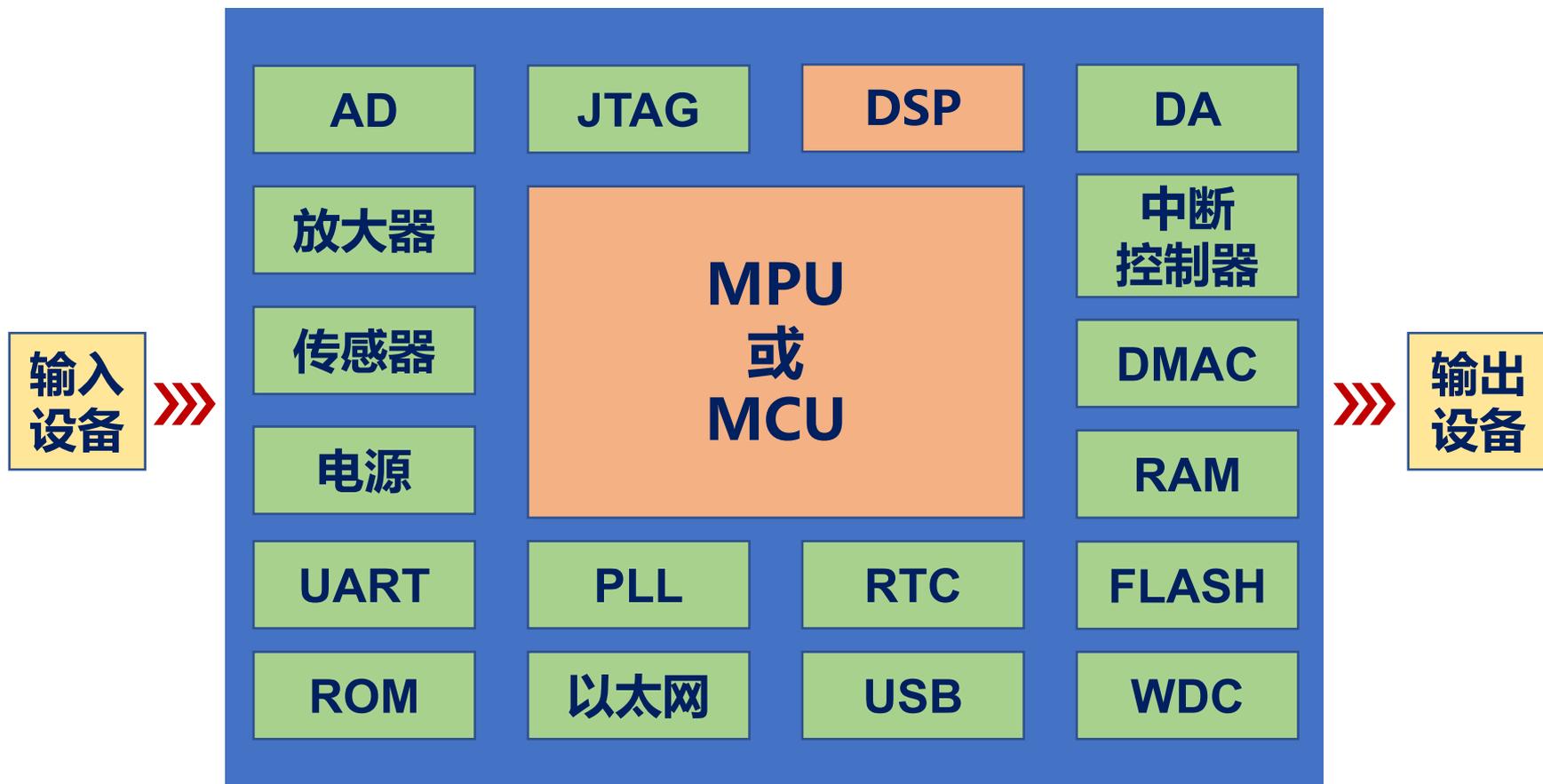
# 1.4 嵌入式系统的组成

## ■ 嵌入式系统的分层结构

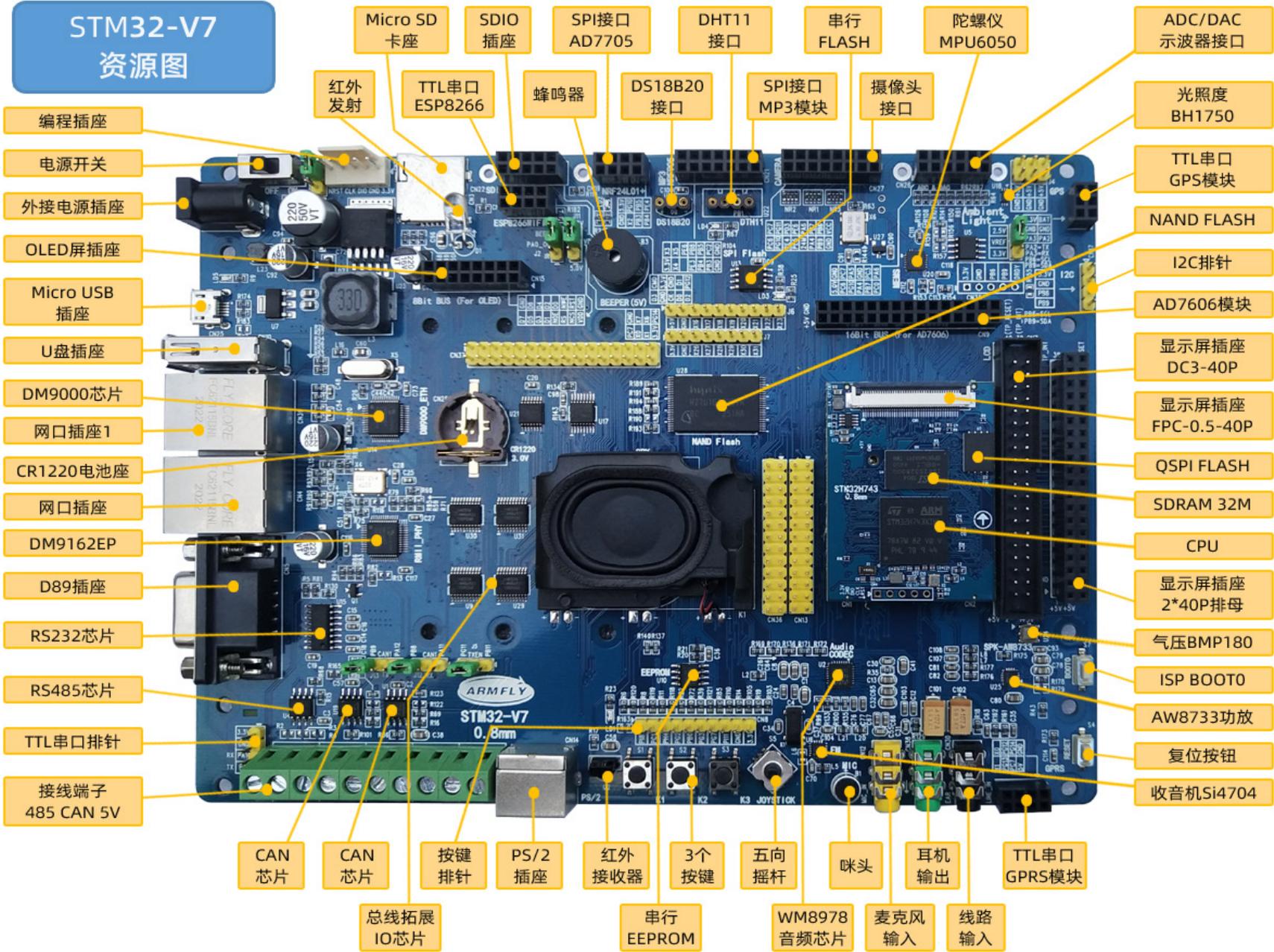


# 1.4 嵌入式系统的组成

## ■ 嵌入式系统的硬件电路板



# STM32-V7 资源图





# 章节内容

- 嵌入式系统的概念
- 嵌入式系统的特点
- 嵌入式系统的应用
- 嵌入式系统的组成
- **嵌入式处理器**
- 嵌入式操作系统
- 嵌入式系统开发工具
- 嵌入式技术的发展趋势



# 1.5 嵌入式处理器

**嵌入式微处理器**  
Microprocessor Unit  
**EMPU**



**嵌入式微控制器**  
Microcontroller Unit  
**EMCU**

**嵌入式DSP处理器**  
Digital Signal Processor  
**EDSP**



**嵌入式片上系统**  
System on Chip  
**SoC**



# 1.5 嵌入式处理器

## ■ 嵌入式微处理器 (EMPU)

- ✧ 由通用计算机中的CPU简化而来
- ✧ 只保留了与嵌入式应用密切相关的功能部件
- ✧ 功耗低、处理器结构可扩展、存储保护、调试功能丰富、支持实时多任务
- ✧ MIPS、ARM、Power PC 等

## ■ 嵌入式微控制器 (EMCU)

- ✧ 俗称**单片机**，将整个计算机系统的主要硬件集成到一块芯片中
- ✧ 某种微处理器内核为核心，**芯片内部**集成FLASH、RAM、ROM/EPROM、总线、总线逻辑、定时/计数器、看门狗、I/O、串行口、PWM输出、A/D、D/A等各种必要功能模块和外设接口
- ✧ 片上外设资源丰富，适合于控制——微控制器，如8051/96系列



# 1.5 嵌入式处理器

## ■ 嵌入式DSP处理器 (EDSP)

- ✧ 对系统结构和指令进行特殊设计，使其适合执行DSP算法，编译效率和指令执行速度也相对较高
- ✧ 在数字滤波、快速傅里叶变换 (FFT) 和谱分析等方面，DSP算法被大量引入嵌入式领域
- ✧ 图形处理、生物识别、机器学习等涉及大量的向量与指针运算

## ■ 嵌入式片上系统 (SoC)

- ✧ 在一个芯片上实现更为复杂的功能，集成了整个系统
- ✧ 各种通用处理器内核作为SoC设计公司的标准库，与许多其他嵌入式系统外设一样，成为VLSI设计中一种标准的器件
- ✧ 采用标准的VHDL等语言描述，存储在器件库中
- ✧ 设计SoC系统的关键：涉及IP (Intellectual Property) 核



# 章节内容

- 嵌入式系统的概念
- 嵌入式系统的特点
- 嵌入式系统的应用
- 嵌入式系统的组成
- 嵌入式处理器
- **嵌入式操作系统**
- 嵌入式系统开发工具
- 嵌入式技术的发展趋势



# 1.6 嵌入式操作系统

■ **定义：**支持嵌入式系统应用的操作系统软件

■ **特点：**

◇ 可裁剪

◇ 强实时性

◇ 统一的接口

◇ 操作方便、简单、提供友好的GUI

◇ 提供强大的网络功能

◇ 稳定性，弱交互性

◇ 固化代码

◇ 良好的移植性



# 1.6 嵌入式操作系统

## ■ 实时操作系统 (RTOS)

**实时系统**是指一个优先等级高的任务能够获得立即的、没有延迟的服务，它不需要等候任何其他任务

在得到CPU的使用权后，它可以一直执行到工作结束或是有更高等级的进程出现为止

一般操作系统只注重平均性能，如所有任务的平均响应时间而非单个任务的响应时间

嵌入式操作系统要求**性能上的“实时性”**，即系统的正确性不仅依赖于计算的**逻辑结果**，也依赖于结果产生的**时间**

RTOS最关键的部分是**实时多任务内核**，它的基本功能包括任务管理、定时器管理、存储器管理、资源管理、事件管理、系统管理、消息管理、队列管理、旗语管理等，**这些管理功能是通过内核服务函数形式交给用户调用的，也就是RTOS的API**



# 1.6 嵌入式操作系统

## ■ 常见RTOS

- ✧ 商用：VxWorks、Windows CE、Psos、Palm OS、OS-9、LynxOS、QNX……
- ✧ 免费：Linux、 $\mu$ C/OS-II



# 章节内容

- 嵌入式系统的概念
- 嵌入式系统的特点
- 嵌入式系统的应用
- 嵌入式系统的组成
- 嵌入式处理器
- 嵌入式操作系统
- **嵌入式系统开发工具**
- 嵌入式技术的发展趋势



# 1.7 嵌入式系统开发工具

## ■ 实时在线仿真系统 (In-Circuit Emulator, ICE)

- ✧ 可以通过实际执行，对应用程序进行原理性检验，排除人的思维难以发现的设计逻辑错误
- ✧ 在应用系统中仿真微控制器的实际执行，发现和排除硬件干扰等引起的异常执行行为

## ■ 高级语言编译器 (Compiler Tools)

- ✧ C/C++
- ✧ EC++
- ✧ JAVA

## ■ 源程序模拟器 (Simulator)

- ✧ 无法和ICE一样仿真嵌入式系统在实际应用系统中的实际执行情况
- ✧ 独立于处理器硬件，一般与编译器基础在同一环境，源程序测试



# 章节内容

- 嵌入式系统的概念
- 嵌入式系统的特点
- 嵌入式系统的应用
- 嵌入式系统的组成
- 嵌入式处理器
- 嵌入式操作系统
- 嵌入式系统开发工具
- 嵌入式技术的发展趋势



# 1.8 嵌入式技术的发展趋势

## ① 嵌入式设备网络互联

- ✧ 在硬件设计方面，要提供各种网络通信接口
- ✧ 在应用软件方面，要提供可以在设备上安装的嵌入式Web浏览器，实现网页浏览和远程数据库的访问

## ② 优化软硬件内核，提高系统运行速度，降低功耗和硬件成本

- ✧ 用最少的硬件资源和软件结构实现最多的功能：嵌入式产品是软件和硬件相结合的设备，为了提高运行速度、降低功耗和成本，要求开发人员尽量裁剪系统的硬件资源和软件内核
- ✧ 在实现过程中要不断的优化硬件电路并改进算法



## 1.8 嵌入式技术的发展趋势

### ③ 嵌入式微处理器中引入指令级的并行计算技术

- ✧ 实际工程应用中会出现大量数据执行相同的运算功能，比如向量计算，这就需要在单个时钟周期内实现多个数据的运算操作
- ✧ 在CPU中设计多个执行部件，这种CPU的架构形式称为**单指令流多数据流体系结构**，也称为**指令级的并行计算技术**

### ④ 嵌入式微处理器向多核技术发展

- ✧ 无所不在的智能必将带来无所不在的计算，大量的图像信息也需要高速的处理器来处理，面对海量数据，单个处理器可能无法在规定的时间内完成处理，为此采用多个执行单元同时处理，这就是处理器的多核技术



# 本章小结

- 主要介绍了嵌入式系统开发的基础知识，包括：嵌入式系统的概念、特点、应用、组成，以及嵌入式处理器、嵌入式操作系统，并列举了几种典型的嵌入式操作系统和嵌入式系统开发工具。