

嵌入式系统

翁恺

分数构成

- 期末考试30%
- 课内10%，考勤和课内讨论/小测
- 实验30%，15次，每次2%
- 大程30%，4次提交，4人小组
 - 根据实验课的小组讨论和提交结果评分

三条主线

- 讲课：嵌入式开发理论知识
- 实验：三块板子三种编程模型
 - STM32F103：裸机、RTOS
 - ESP32：Python、Wi-Fi
 - Raspberry Pi：Linux
- 大程：

大程

- 3个方向中选择一个
 - 无线传感网： 能量均衡的传播协议或室内定位
 - 边缘AI： 图像或声音的AI计算
 - 编程环境： microPython的编程、调试、部署环境

大程要求

- 科学化
 - 以科研的方法做研究、比较
- 可验证
 - 不仅实现了作品，而且做了对自己的作品的验证
- 形成性
 - 考察开发过程而非结果

嵌入式系统

嵌入式系统

后端

配套服务器
端设计与开
发

前端

系统分析与设计

电路设计

结构设计

应用软件开发

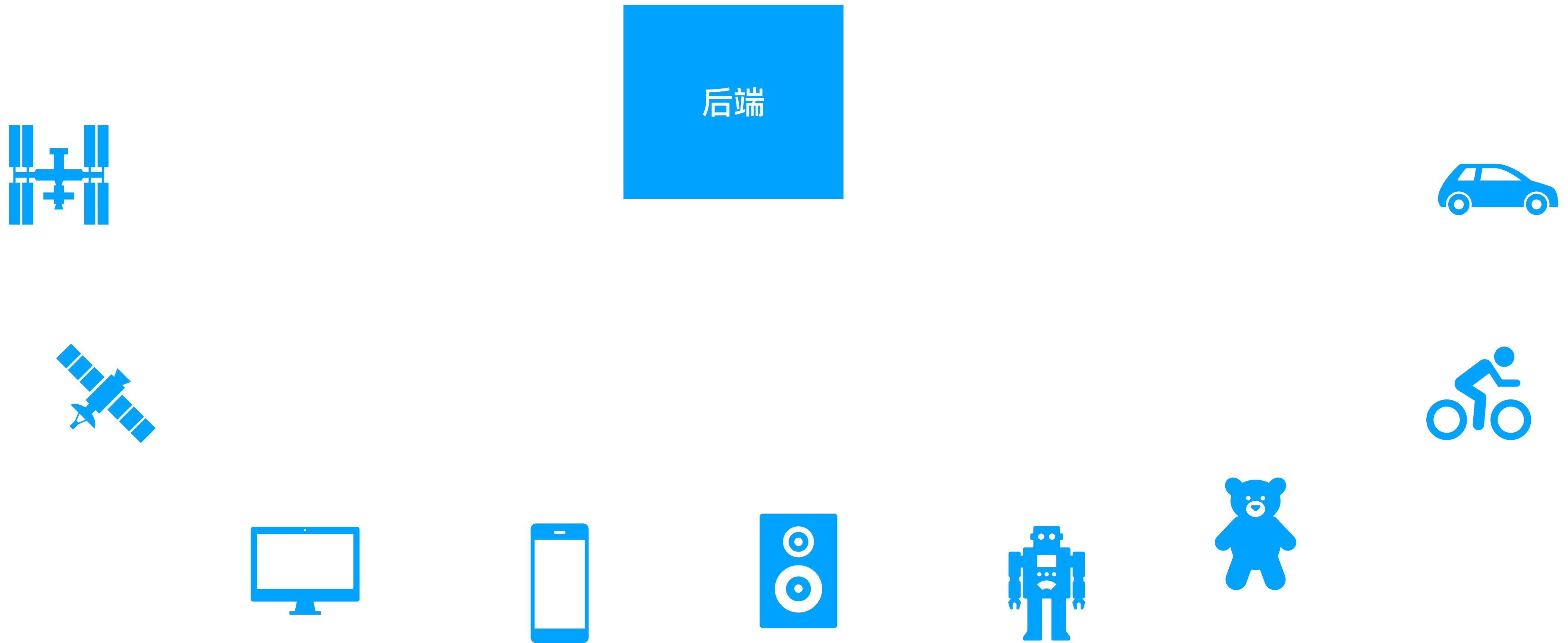
生产设计

嵌入式产品

开发工具与
库、OS开发

公共软件产品

无处不在的前端/后端模型



课程目标

- 了解嵌入式系统基本概念和一般原则
- 掌握系统分析和架构设计的方法
- 了解硬件设计的基本原则
- 掌握嵌入式软件开发所需的工具的概念和使用
- 熟练掌握在裸机、RTOS和嵌入式Linux上开发应用软件的方法
- 了解为嵌入式设备提供数据服务的一般做法

课程培养目标

- 学会为嵌入式设备开发应用软件的手段，经过实践训练可以成长为嵌入式软件开发工程师
- 掌握程序编译、链接和运行的原理，从而作为非嵌入式软件开发工程师能写出更好的应用软件来
- 为有兴趣接触嵌入式硬件和系统设计的同学打下基础

YES or NO

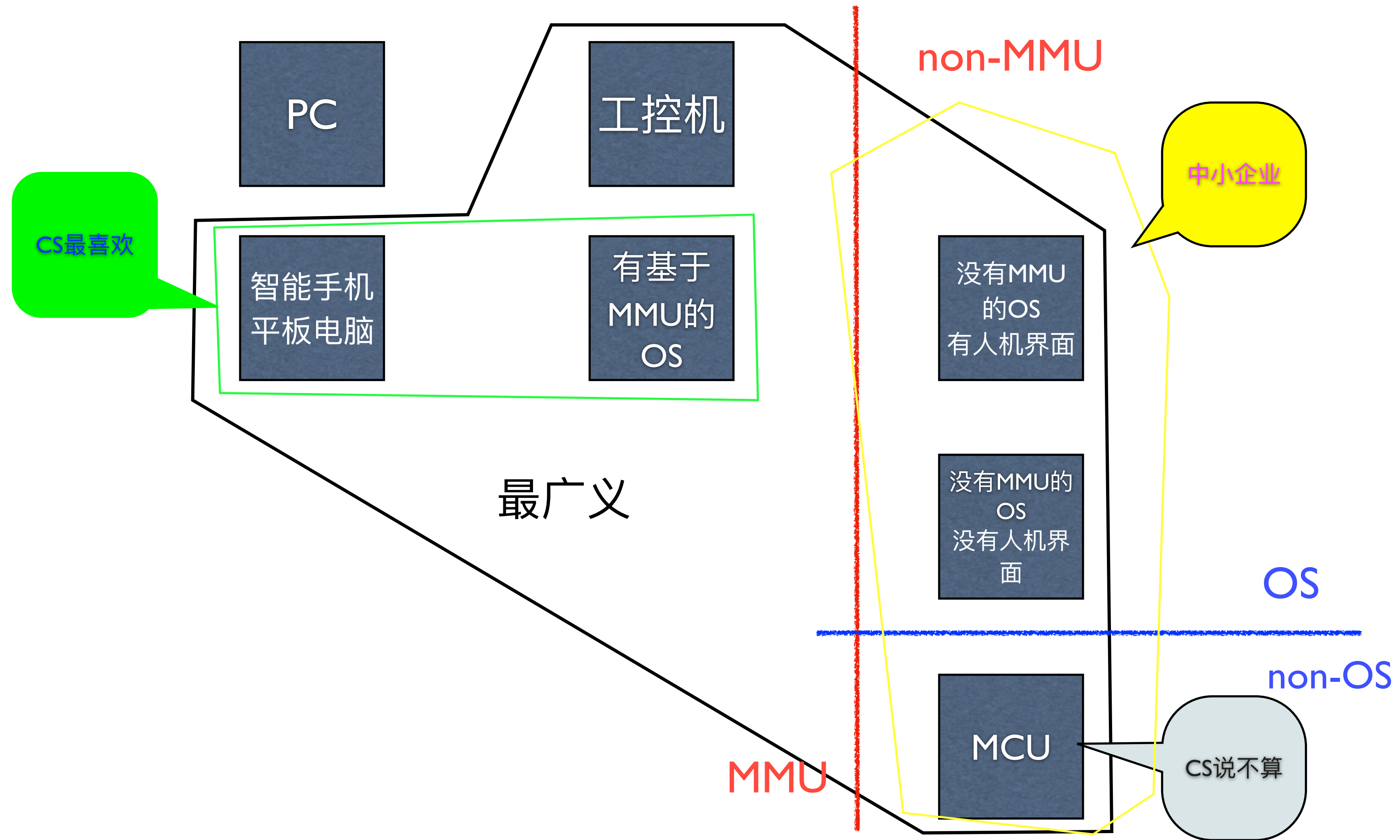
- 本课程不是
 - 单片机开发：关注具体外设的使用和编程
 - 物联网：关注感知和网络连接
 - 嵌入式软件工程：关注系统开发过程
- 本课程关注：嵌入式开发中的软件模型，即如何响应外界的输入来做出输出

我们的使命

- 嵌入式系统所需的软件
 - 不仅仅是如何在嵌入式系统上写软件
 - 基础软件（操作系统、引导装载、驱动）
 - 开发软件（编译器、开发工具、调试、评测）
- 做软件而不仅是用软件

什么是嵌入式

什么是嵌入式



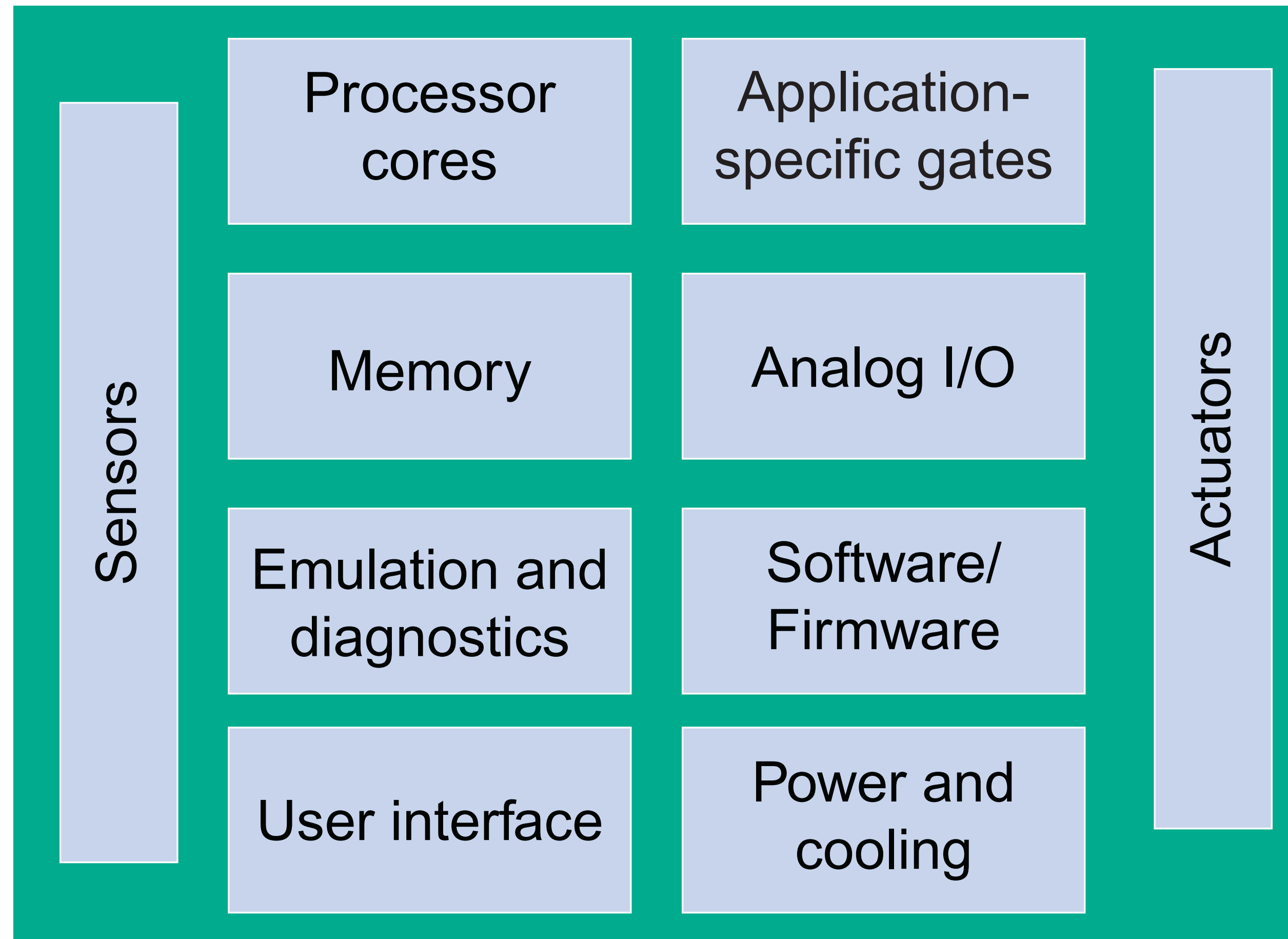
什么是嵌入式系统

- 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”。
- Devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants.

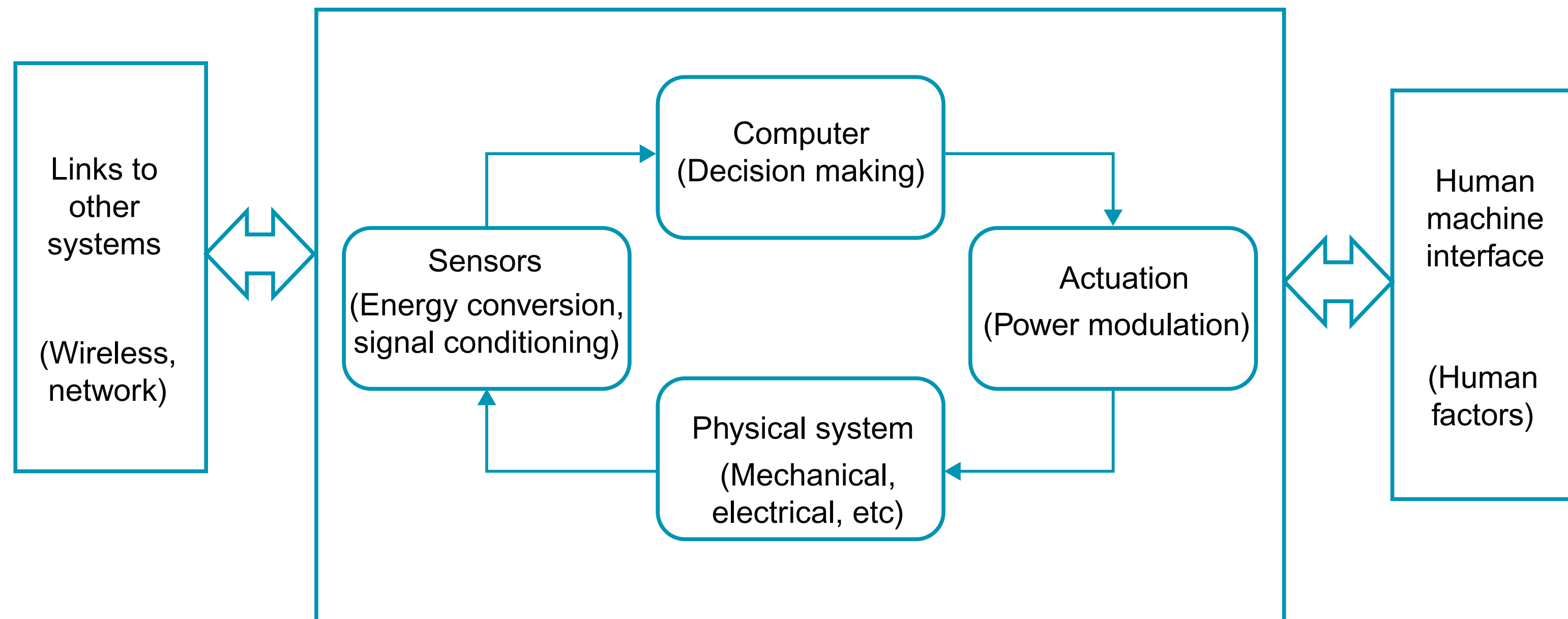
嵌入式系统的含义

- 通俗的说，嵌入式系统就是将计算机的硬件或软件嵌入其它机、电设备或应用系统中去，所构成了一种新的系统，即嵌入式系统
- 嵌入式系统是专用计算机系统，是一个集成的大系统中的一部分，包括硬件和软件的组合
- 嵌入式系统是以应用为中心，以计算机技术为基础，采用可剪裁软硬件，适用于对功能、可靠性、成本、体积、功耗等有严格要求的专用计算机系统，用于实现对其他设备的控制、监视或管理等功能

典型嵌入式设备

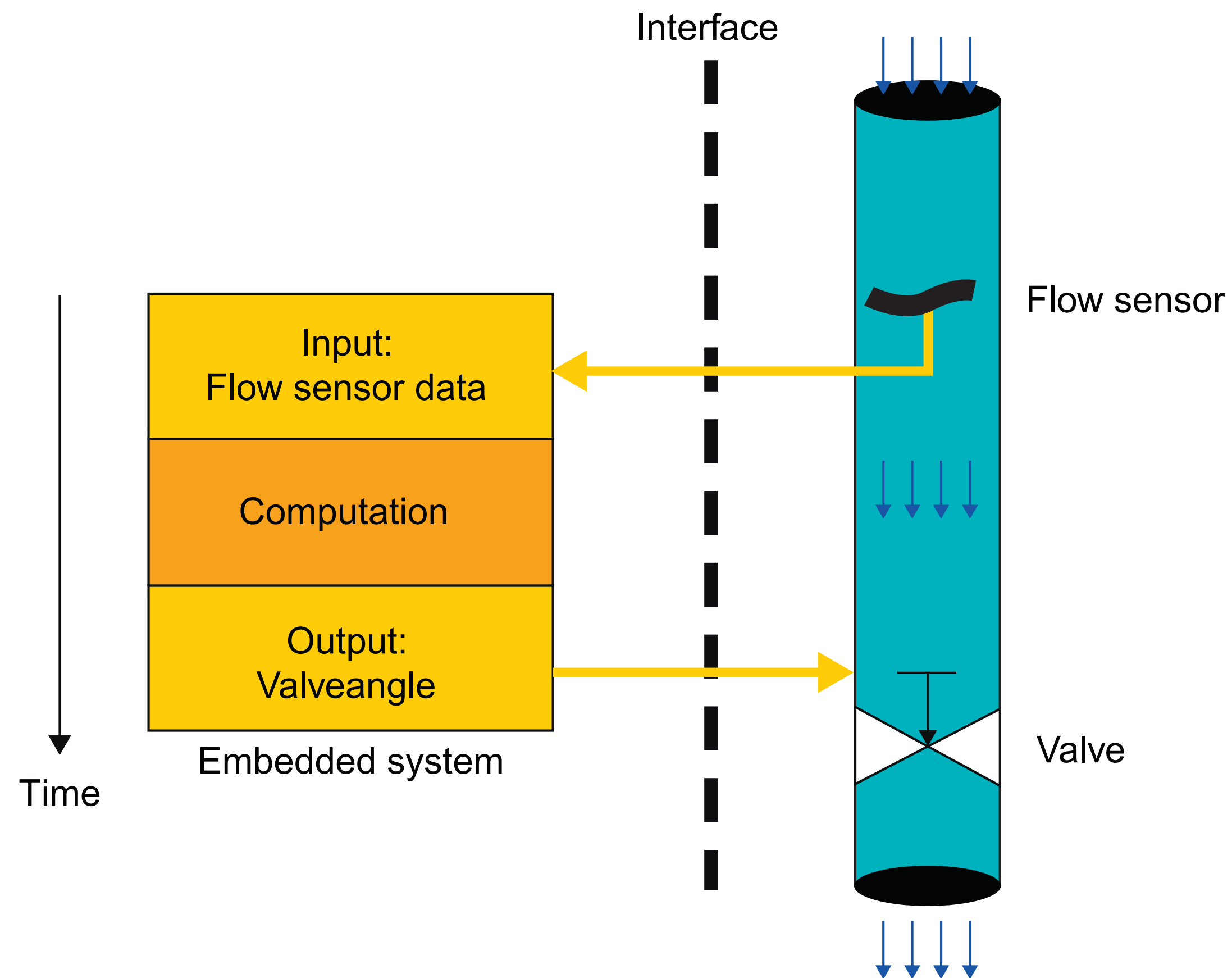


嵌入式系统是反应系统



- 对环境的监测和反应
- 控制环境
- 信息的处理
- 特定应用
- 应用程序的优化
- 资源限制
- 实时
- 多速率

流体检测控制

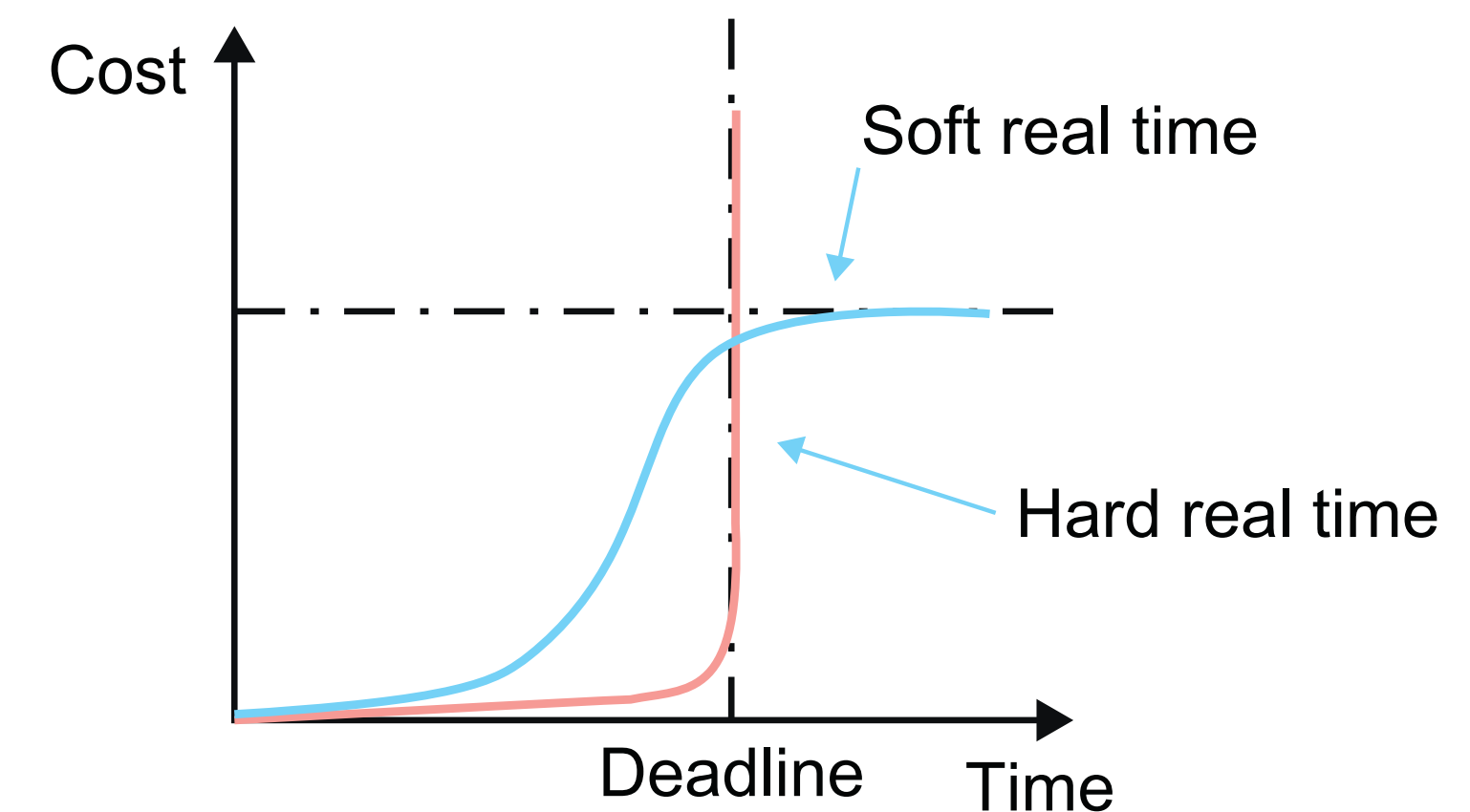


嵌入式系统与桌面通用系统的区别

- 嵌入式系统中运行的任务是专用而确定的
 - 心脏监视器只需运行信号输入、信号处理、心电图显示任务
 - 不用运行word、excel等任务
 - 如要更改任务，需要对整个系统进行重新设计或在线维护
- 桌面通用系统需要支持大量的、需求多样的应用程序：
 - 对系统中运行的程序不作假设
 - 程序升级、更新等方便

嵌入式系统与桌面通用系统的区别

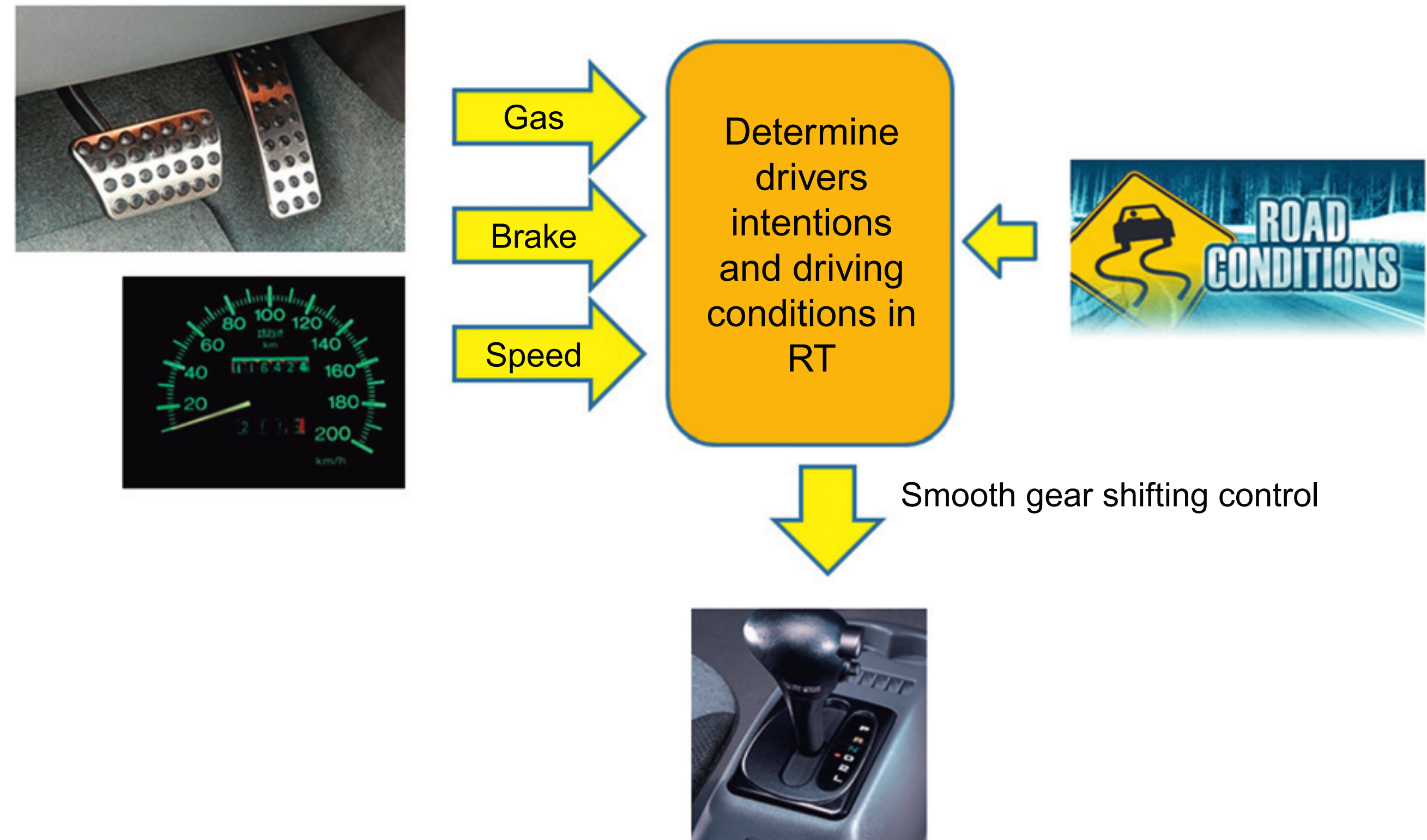
- 嵌入式系统往往对实时性提出较高的要求。
 - 实时系统：指系统能够在限定的响应时间内提供所需水平的服务。（POSIX 1003.b）
- 嵌入式实时系统可分为：
 - 强实时型：响应时间 $\mu\text{s} \sim \text{ms}$ 级，如数控机床、医疗仪器；
 - 一般实时：响应时间 $\text{ms} \sim \text{s}$ 级，如打印机、电子菜谱；
 - 弱实时型：响应时间 s 级以上，如工程机械控制。



嵌入式系统与桌面通用系统的区别

- 嵌入式系统中使用的操作系统一般是实时操作系统

- VxWorks
- uC/OS
- FreeRTOS
- RT-Thread
- Thread-X



实时vs分时

| 特征 | 分时系统 | 实时系统 |
|-------|------------|----------------------------|
| 系统承载力 | 高吞吐率 | 系统调度能力满足所有的时间要求 |
| 反应能力 | 快速而平均的响应能力 | 保证最坏情况下的延迟，即最坏情况下对时间的反应 |
| 过载 | 同等对待 | 稳定压倒一切。过载时满足重要的任务而其他的可以不满足 |

嵌入式系统与桌面通用系统的区别

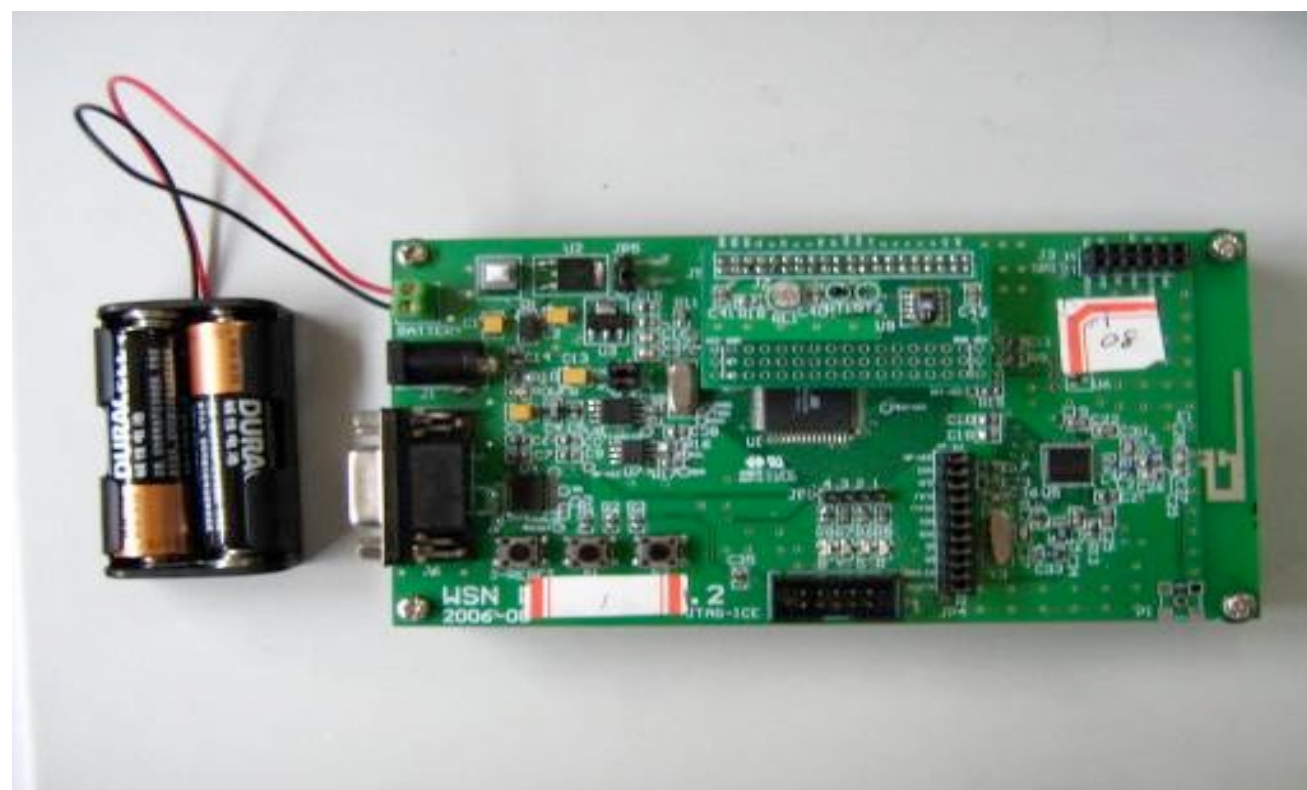
- 嵌入式系统运行需要高可靠性保障
 - 1966年，美国首次金星探测计划失败
 - 1982年，在马尔维纳斯群岛战争中，英国谢菲尔德驱逐舰被击沉，由于它的雷达系统将来袭的“飞鱼”导弹确定为“友好”
 - 1985~1987年，美国、加拿大联合研制的Therac25型放射治疗仪多次产生超计量辐射，造成两人死亡、多人受伤的重大医疗事故
 - 1991年，在海湾战争中，爱国者导弹拦截飞毛腿导弹失败
 - 1996年，ESA首次发射阿丽亚娜501航天飞机自毁，损失5亿

嵌入式系统与桌面通用系统的区别

- 嵌入式系统需要忍受长时间、无人值守条件下的运行
 - 如核心路由器、航天飞行器
- 嵌入式系统运行的环境恶劣
 - 工业控制：车间设备干扰、辐射
 - 航天飞行器：40%的航天设备故障源（单粒子翻转、单粒子闩锁、功率器件SEB等）来自太空辐射，需要提供抗辐射加固保障

嵌入式系统与桌面通用系统的区别

- 嵌入式系统大都有功耗约束
 - 【董亚波】敦煌莫高窟洞窟微气象环境监测，有大约45000平方米的壁画、2400余尊彩塑等珍贵文物需要保护。对各个洞窟内的温度、湿度以及二氧化碳浓度的微气象环境是影响壁画保存的重要因素
 - 要求1分钟采样一次，每个采样节点采用电池供电，1年更新一次。采用常规的方法，能量只能持续工作5天！
 - 引入间歇工作方式，从而降低功耗，节省能量



嵌入式系统与桌面通用系统的区别

- 嵌入式系统比桌面通用系统可用资源少得多
 - 为降低系统成本，降低功耗，嵌入式系统的资源配置遵循够用就行！
- 嵌入式系统的开发需要专用工具和特殊方法：
 - 开发：交叉编译、交叉链接
 - 调试：仿真器、虚拟机
 - 更新：在线升级等

嵌入式系统与桌面通用系统的区别

- 嵌入式系统开发是一项综合的计算机应用技术
- 系统结构：状态控制器、中断控制器处理
- 汇编语言：操纵外围设备、端口
- 操作系统：设置运行任务、通信、互斥
- 编译原理：交叉编译、bootloader加载

是否算作嵌入式系统的标志

- 能否在运行时刻由用户方便地装载新的应用程序来运行
 - PC/服务器不是嵌入式系统
 - 智能手机/平板电脑不是嵌入式系统
 - 非智能手机是嵌入式系统
 - 路由器是嵌入式系统
 - 专用PC? 专用平板电脑?
 - 能运行脚本 (Python/Lua) 的设备?

有没有屏幕
有没有交互
有没有网络
有没有OS

本课程所讨论的嵌入式系统

- 不包括简单逻辑控制设备（没有程序）
- 不包括商用GUI终端（手机、Pad等）
- 嵌入式Linux不是嵌入式OS的未来主流
- 在Linux之外我们会学习其他RTOS，它们也不一定比Linux更有前途，但是值得你知道

嵌入式系统简单历史

出现和兴起

- 第一代电子管计算机(1946~1957年), 无法满足嵌入式计算所要求的体积小、重量轻、耗电少、可靠性高、实时性强等一系列要求。
- 60年代, 第二代晶体管计算机系统开始应用:
 - 第一台机载专用数字计算机是美国海军舰载车侦机“宙斯盾”系统。
 - 1962年美国乙炔分析仪(Verdan)。
- 1965~1970年, 第二代集成电路化计算机系统应用:
 - 第一次使用机载数字计算机控制的是1965年发射的Gemini3号。
 - 第一次通过容错来提高可靠性是1968年的阿波罗4号、土星5号。
 - 在军用领域中, 出现了为各种武器系统研制的嵌入式系统。

一般对计算机这个词汇的理解是键盘鼠标显示器
而在嵌入式领域, 计算机指的就是CPU

发展时期

- 嵌入式系统的大发展是在微处理问世之后：
 - 1971年11月，Intel公司推出了第一片微处理器Intel4004，并进一步通用化，推出了4位的4040、8位的8008
 - 人们再也不必为设计一台专用机而研制专用的电路、专用的运算器了，只需以微处理器为基础进行设计
 - 1976年，第一个单片机Intel 8048出现
 - 1982年，第一个DSP出现，比同期的CPU快10~50倍
 - 80年代后期，第三代DSP芯片出现

嵌入式软件的进步

- 早期嵌入式系统：采用汇编语言，基本不采用操作系统
- 硬件的提升：微处理器性能提高、存储器容量增加
- 软件技术发展：高级语言、编译器、操作系统、集成开发环境

走向纵深化发展

- 应用充分普及：工业控制、数字化通讯、数字化家电
 - 汽车：50个以上嵌入式微处理器
 - 飞机：70个以上嵌入式系统
 - 神舟飞船：64个嵌入式软件系统
- 嵌入式微处理器32位、64位
- 嵌入式实时操作系统使用比率越来越高
 - 早期：10%；90年代初：30%；目前：80~90%
 - 嵌入式系统开发工具越来越丰富
- 嵌入式系统产业链形成，并被广泛应用于网络通信、消费电子、医疗电子、工业控制和交通系统等领域

发展趋势

- 多学科交叉融合，机、电、液、控、热等软、硬件等多物理领域对象高度集成与融合，复杂机电产品的协作（同步）开发



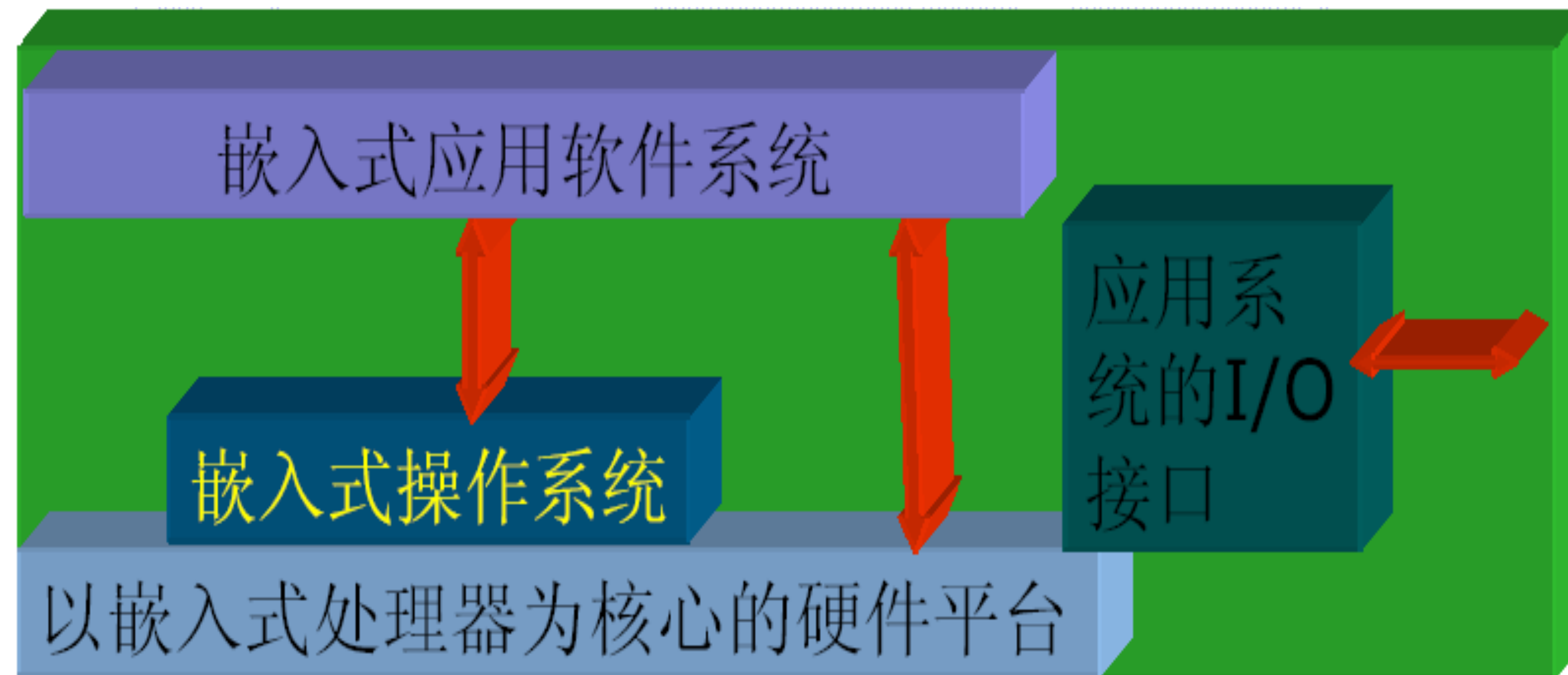
发展趋势

- 智能硬件 or 物联网
- 嵌入式系统从“藏在里面的控制器”发展到“联网的结点”
 - 通信能力
 - 在线更新能力
 - 脚本语言编程能力

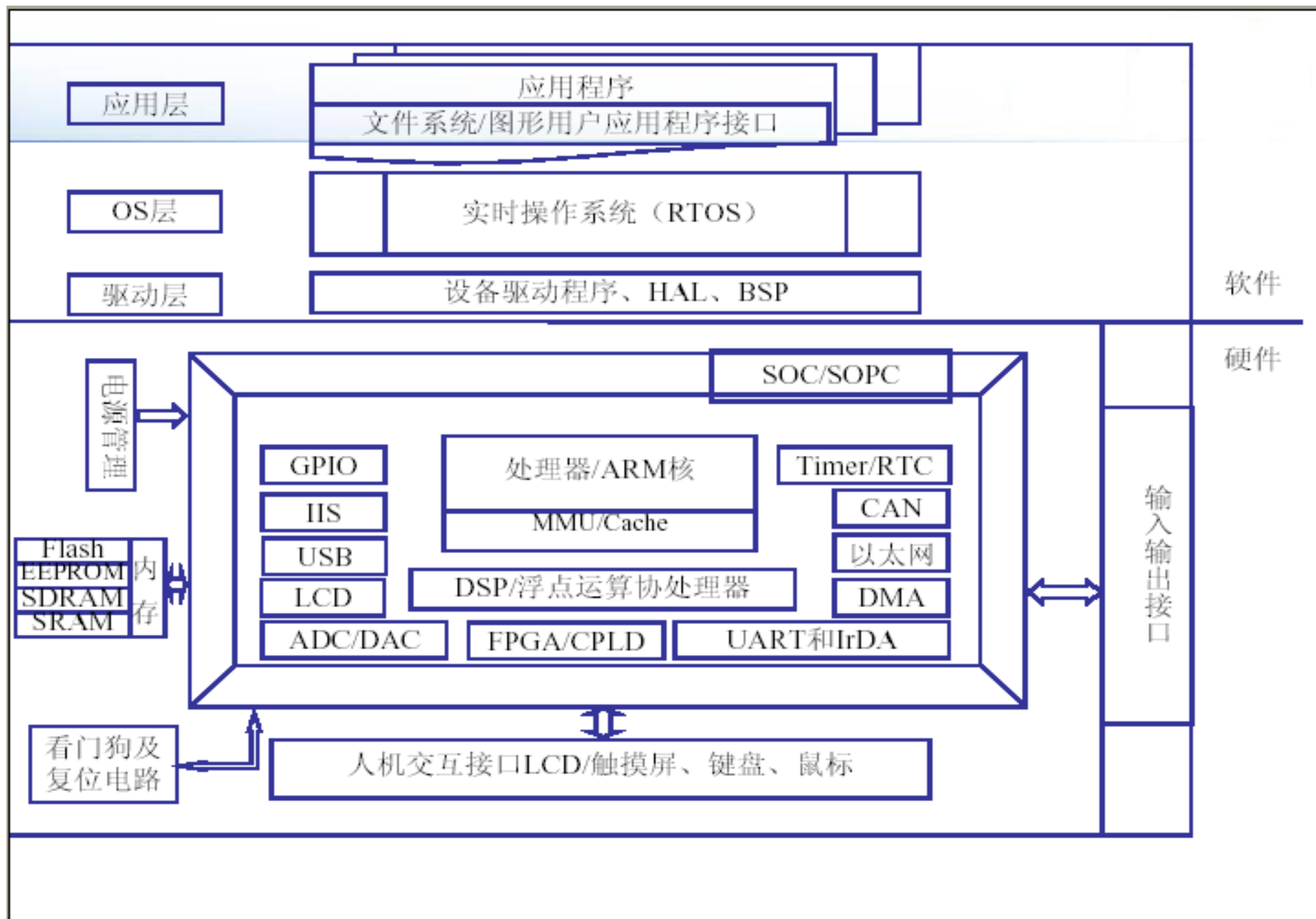
嵌入式系统结构

嵌入式系统一般结构

- 嵌入式系统一般由嵌入式微处理器、外围硬件设备、嵌入式操作系统（或框架），以及用户的应用软件系统等四个部分组成



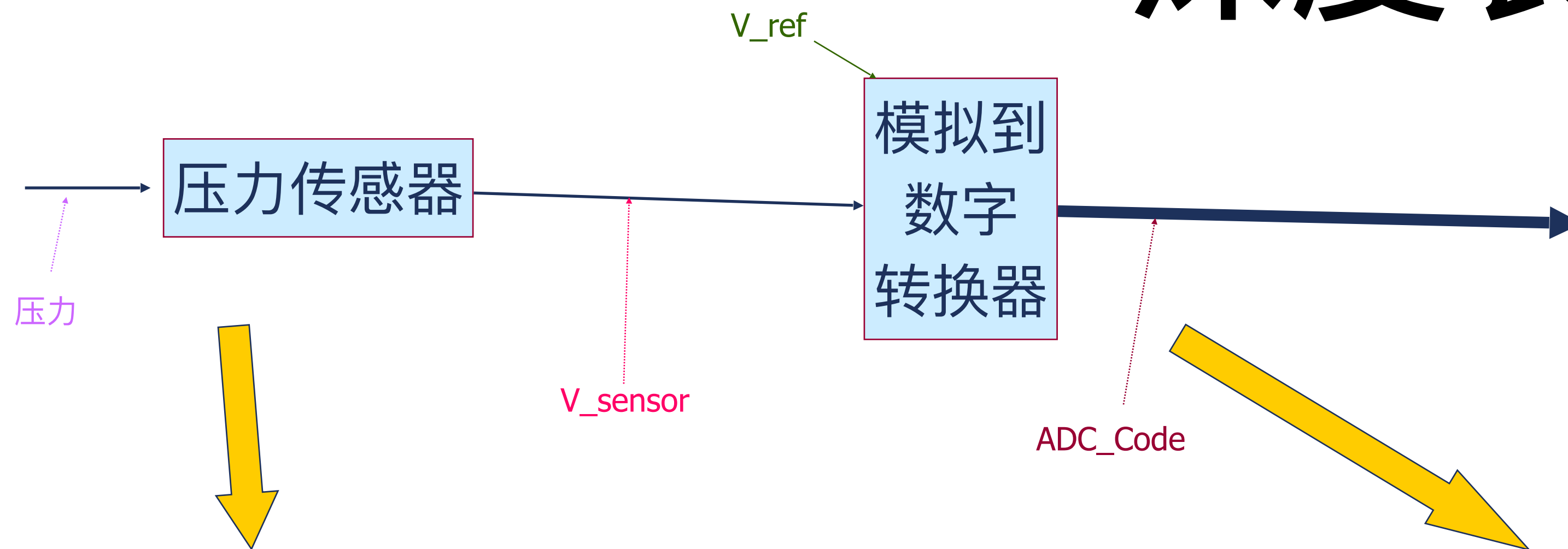
一个典型的嵌入式设备



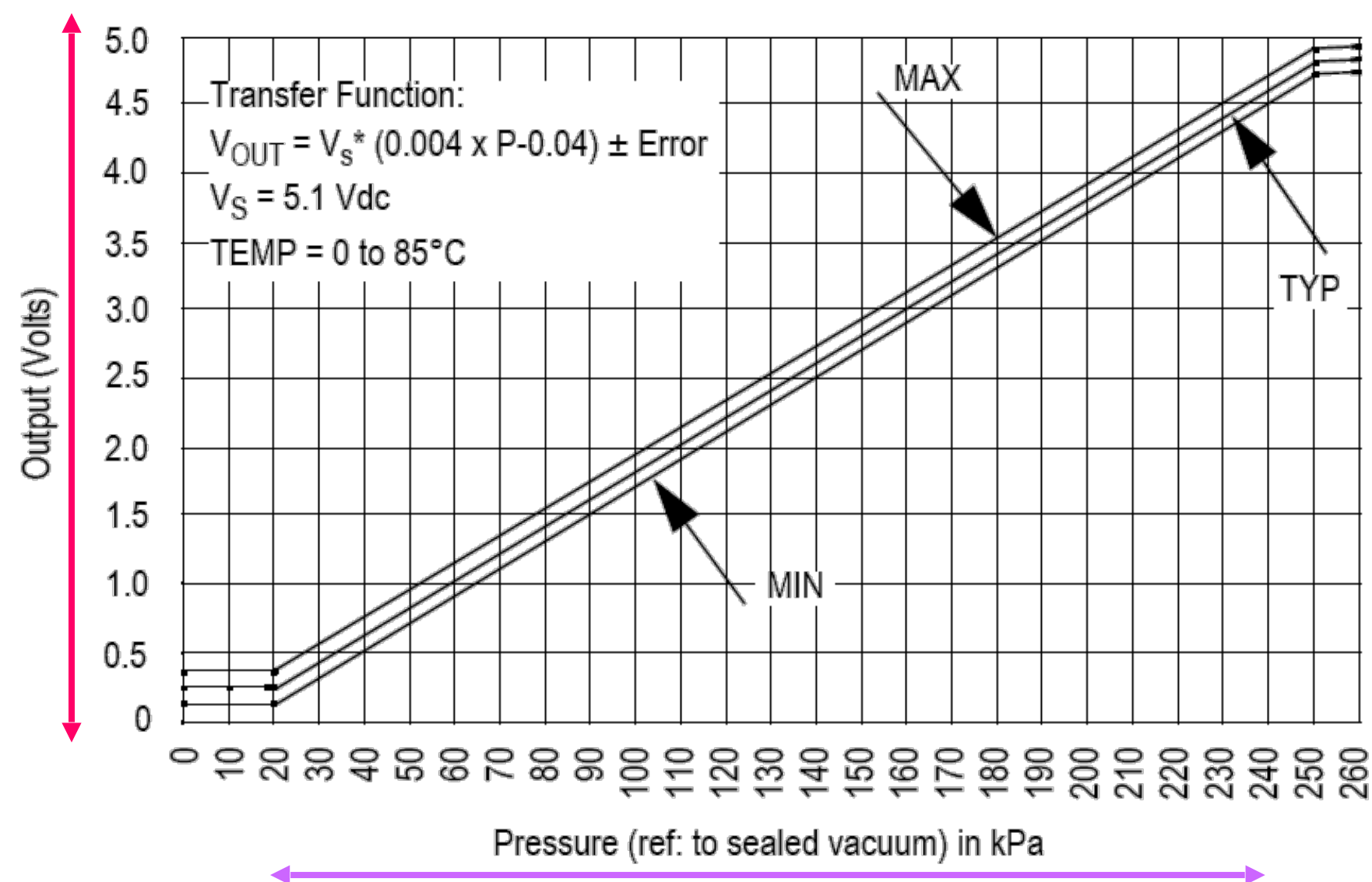
计算机

- 任何计算机都可以最终被简化为输入->计算->输出的模型
- 嵌入式系统往往就是这个模型的直接体现

深度表



```
// 你的软件
ADC_Code = ADC0->R[0];
V_sensor = ADC_code*V_ref/1023;
Pressure_kPa = 250 * (V_sensor/
V_supply+0.04);
Depth_ft = 33 * (Pressure_kPa -
Atmos_Press_kPa)/101.3;
```



| 电压 | ADC 输出编码 |
|----------|--|
| V_ref | 111..111 111..110 111..101 111..100 |
| V_sensor | ADC_Code |
| 地 | 000..001 000..000 |

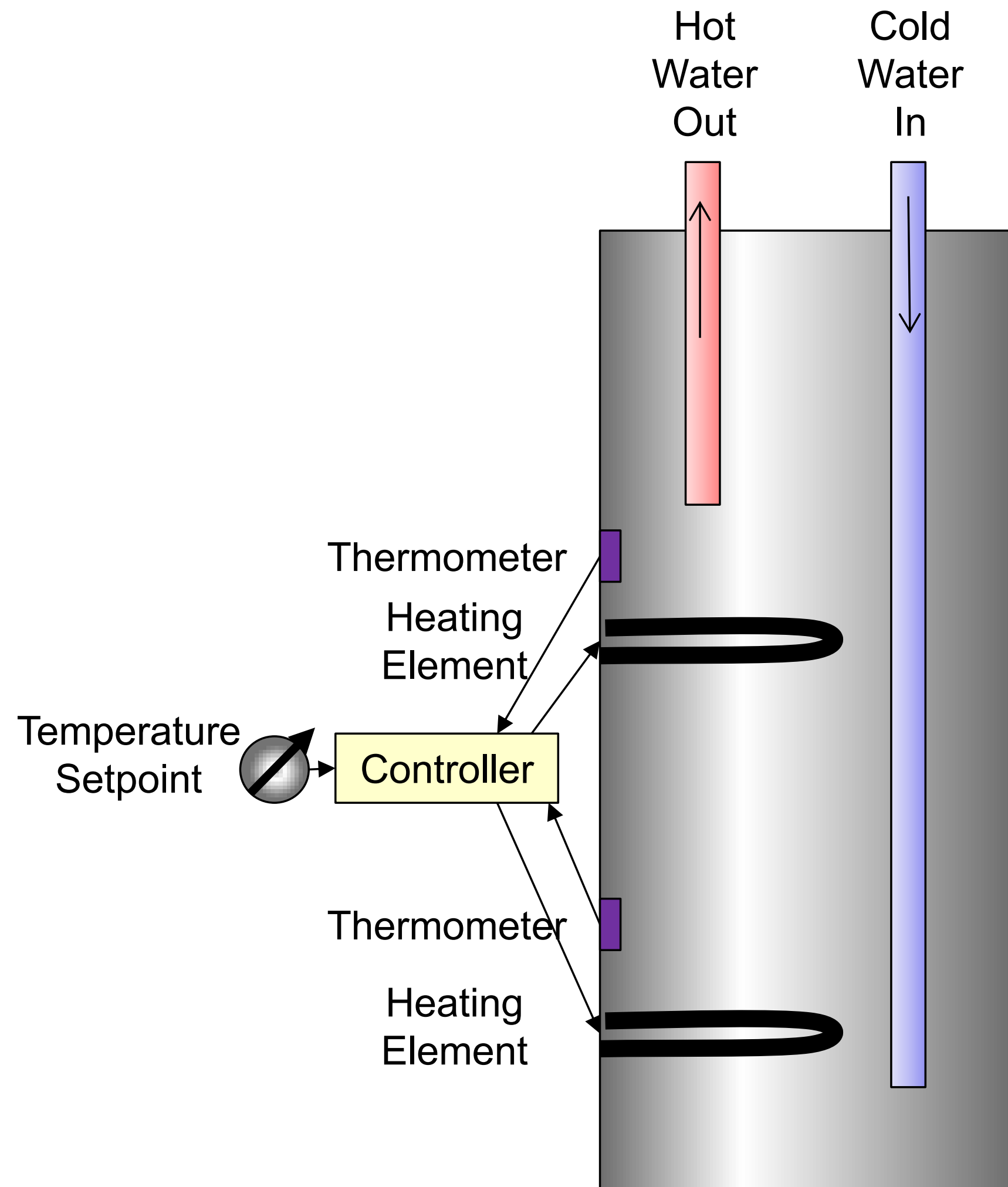
1. 传感器感知到压力并产生等比例的输出电压 V_{sensor}
2. ADC基于 V_{sensor} 和 V_{ref} 产生等比例的整数 (编码)
3. 程序可以把整数转换成更有用的东西
 1. 首先是代表电压的浮点数;
 2. 然后是另一个代表压力的浮点数;
 3. 最后是另一个代表深度的浮点数。

自行车码表

- 功能
 - 速度和距离的测量
- 约束
 - 大小
 - 成本
 - 能耗
 - 重量
- 输入
 - 钢圈旋转检测
 - 模式按钮
- 输出
 - 液晶显示器
 - 低性能MCU
 - 8-bit, 10 MIPS



电热水器

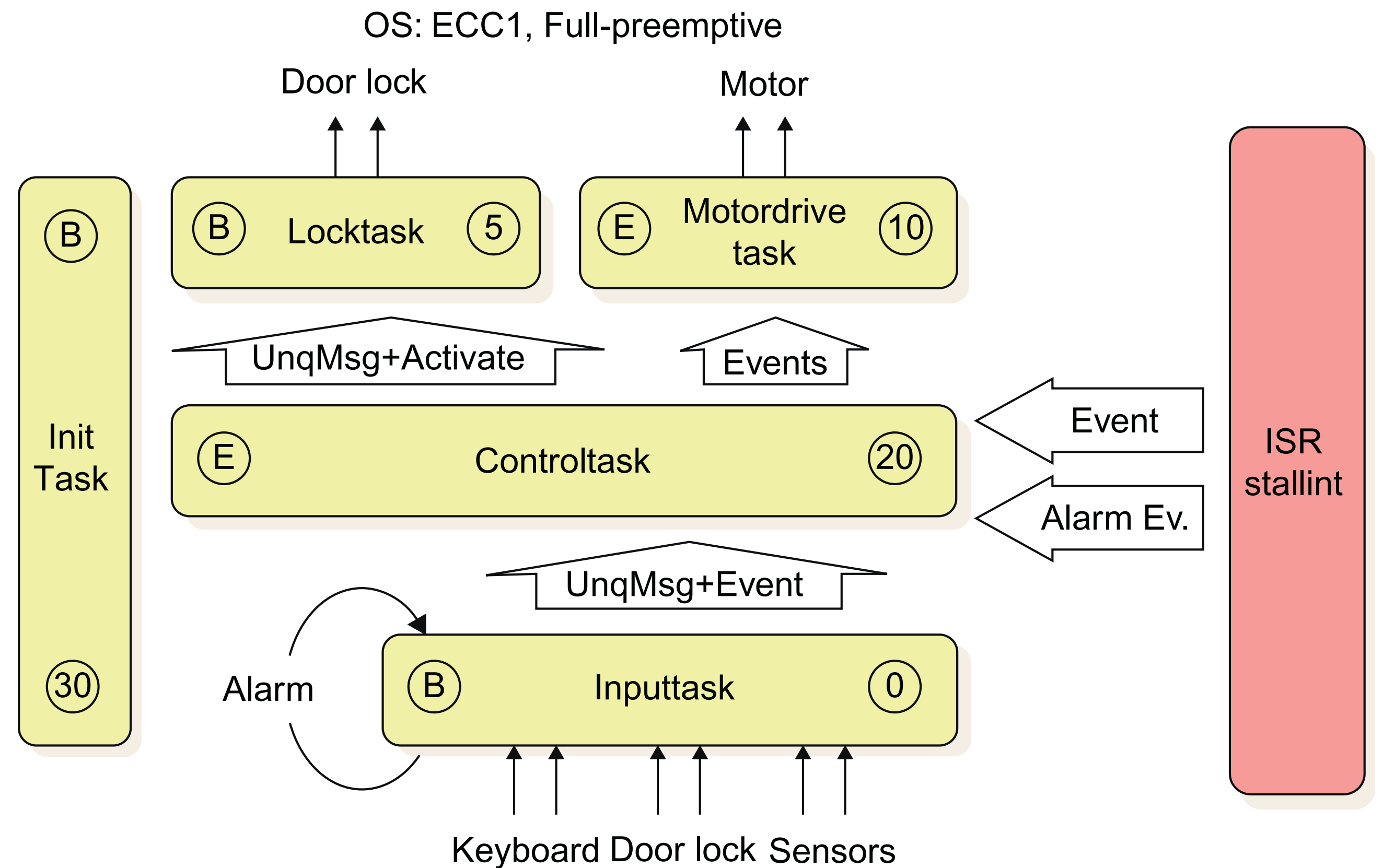
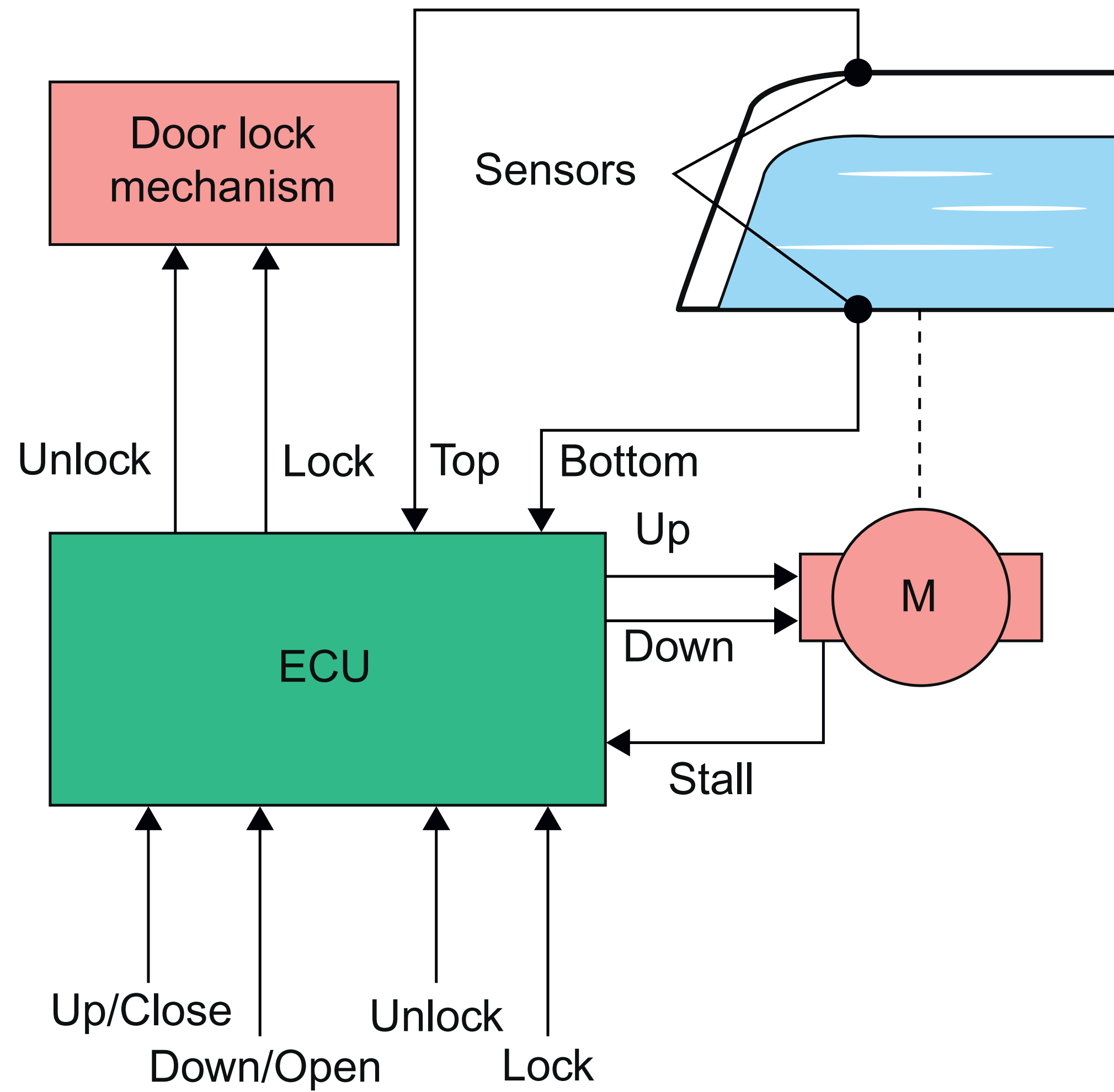


- 嵌入式系统：由计算机检测温度，决定加热元件开关
- 控制电路系统：由电压比较器比较温度和设定值两个电压，决定加热元件开关
- 电工系统：由双金属热耦元件在到达设计温度时断电

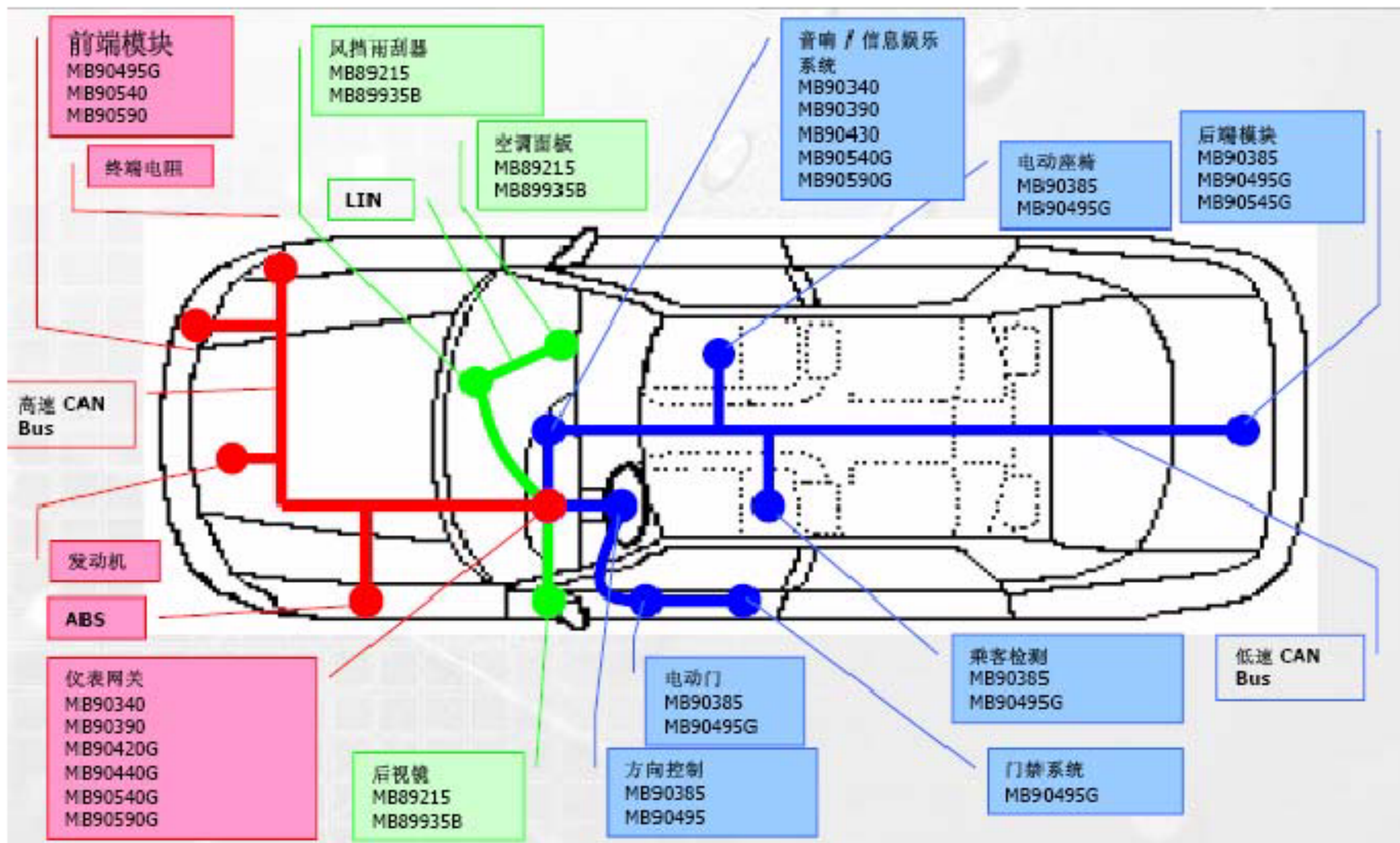
嵌入式热水器系统

- 新功能不需要额外的硬件就可以用软件实现（防冻）
- 如果控制器能够具有时间数据，可以设计软件实现的节能功能（夜间关闭、峰谷电）
- 如果加上互联网连接，可以设计软件实现的功能（远程监控、提前烧水、电网调峰）

车窗升降



汽车电子



多机 vs 单机

- 多机：系统中有多处理器，通过总线/网络连接
 - 局部任务就近处理，不受其他任务的影响
- 单机：系统中只有一个处理器，所有的传感器/动作器连接到单个处理器上
 - 单个强大的处理器，一份程序
- 历史上很多系统都在单机/多机上反复过
 - 民航飞机就走过单机->多机->单机->多机的路线
 - 卫星也是从单机迅速发展多机，但是现在单机（综合电子）又开始流行

讨论

- 设计一个嵌入式系统：电开水壶，如图所示。
- 该电开水壶的输入设备有哪些？
- 该电开水壶的输出设备有哪些？
- 请考虑给电开水壶设计增加两项功能以便提高安全性。简述要增加的功能是什么，硬件或软件上需要怎么调整。

