

第1章 嵌入式系统概述

1.1 嵌入式系统概念

1.2 嵌入式系统体系

1.3 嵌入式硬件系统

1.4 嵌入式操作系统

李振坡

lizhenpo@ecust.edu.cn

电子与通信工程系

华东理工大学信息学院

1.1 嵌入式系统概念

1.1 嵌入式系统概念

1.1.1 嵌入式系统定义

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”。

国内普遍认同定义

- 嵌入式系统就是一个具有特定功能或用途的计算机软硬件集合体。
- 即以应用为中心、以计算机技术为基础、软件硬件可裁剪、适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗严格要求的**专用**计算机系统。

1.1 嵌入式系统定义

1.1.2 嵌入式系统特点

- 嵌入式系统是将先进的计算机技术、半导体技术和电子技术与各个行业的具体应用相结合后的产物。

计算机-通用性。

- 嵌入式系统通常是面向特定应用的，它通常都具有低功耗、小体积、高集成度等特点。

计算机-高性能。

- 嵌入式系统的硬件和软件都必须高效地设计，量体裁衣、去除冗余，力争在同样的硅片面积上实现更高的性能。

计算机-标准化。

- 为了提高执行速度和系统可靠性，嵌入式系统中的软件一般都固化在存储器芯片或嵌入式控制器之中。

计算机-硬盘、内存。

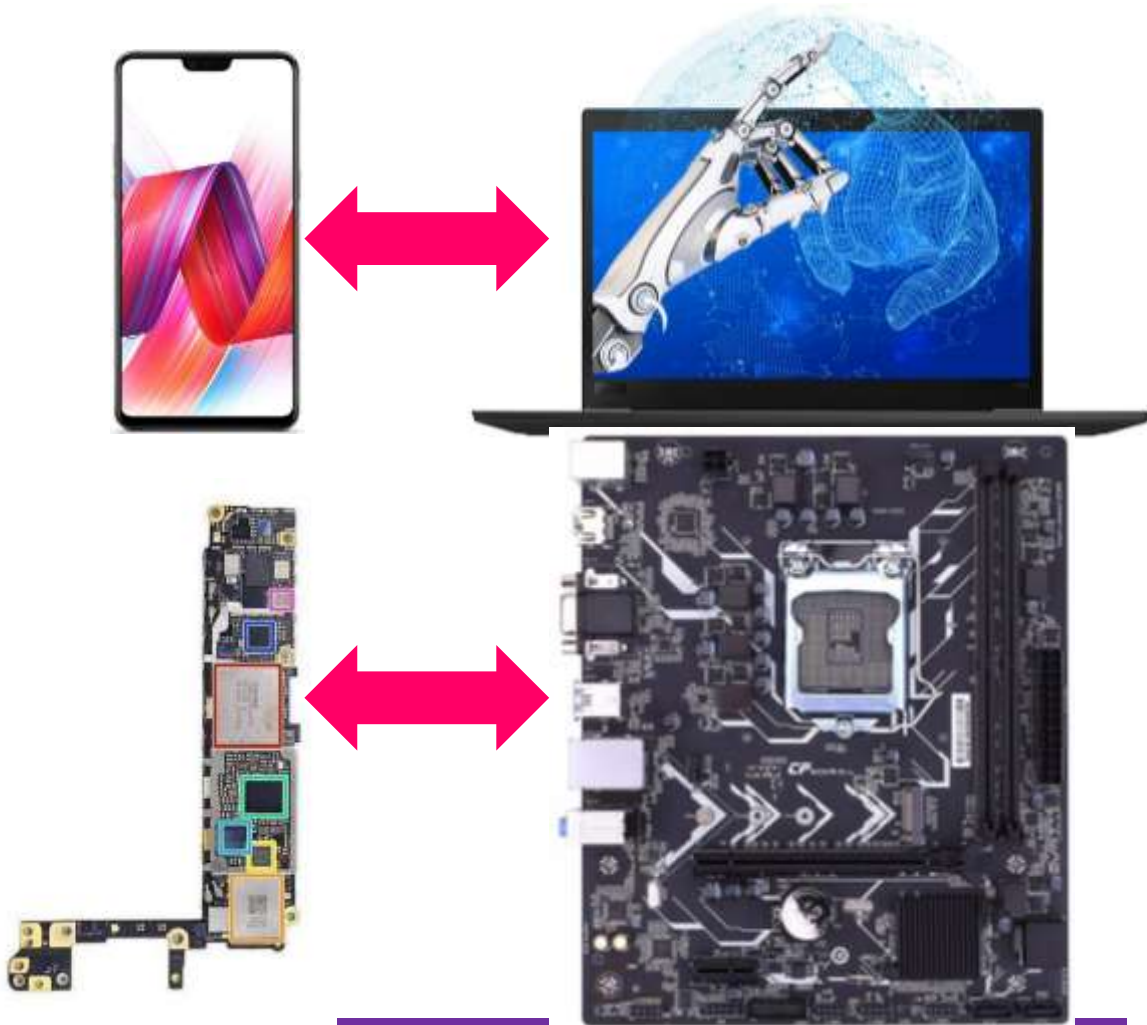
1.1 嵌入式系统定义

1.1.3 嵌入式系统应用

计算机技术、半导体技术和电子技术与通信技术的**具体应用相结合**的产物。满足通信、娱乐和一定工作需求。

对便携性、待机时间等有较高要求，因此手机具有**小体积、低功耗、高集成度**等特点。

典型嵌入式系统-手机



1.1 嵌入式系统定义

1.1.3 嵌入式系统应用

嵌入式系统技术应用领域

- 1 新能源
- 2 智能硬件
- 3 汽车电子
- 4 工业控制
- 5 互联网/物联网
- 6 仪器仪表/工业自动化
- 7 通信/电信/网络设备
- ...

1.1 嵌入式系统定义

无处不在的嵌入式技术



智能手机



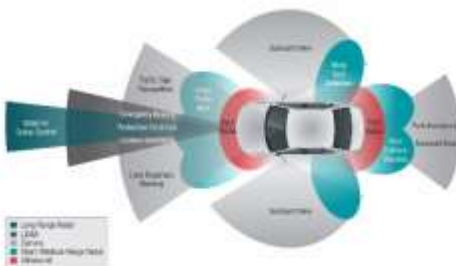
苹果智能手表



数码摄像机



心电监测仪



汽车电子



工业机器人

1.1 嵌入式系统定义

无处不在的嵌入式技术



谷歌眼镜



四旋翼无人机



工控板



智能家居



智能硬件



物联网

1.2 嵌入式系统体系

1.2 嵌入式系统体系

嵌入式系统的硬件层一般由嵌入式处理器、内存、人机接口、复位/看门狗电路、I/O接口电路组成，它是整个系统运行的基础，通过人机接口和I/O接口实现和外部的通信。

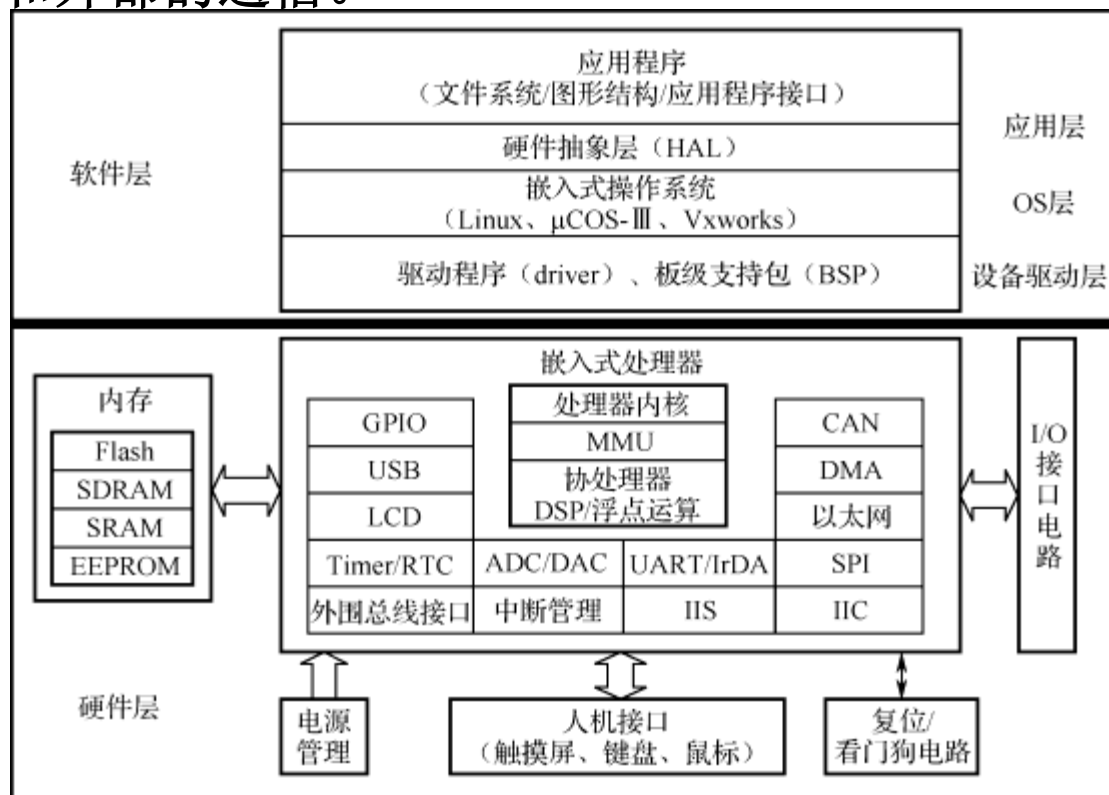
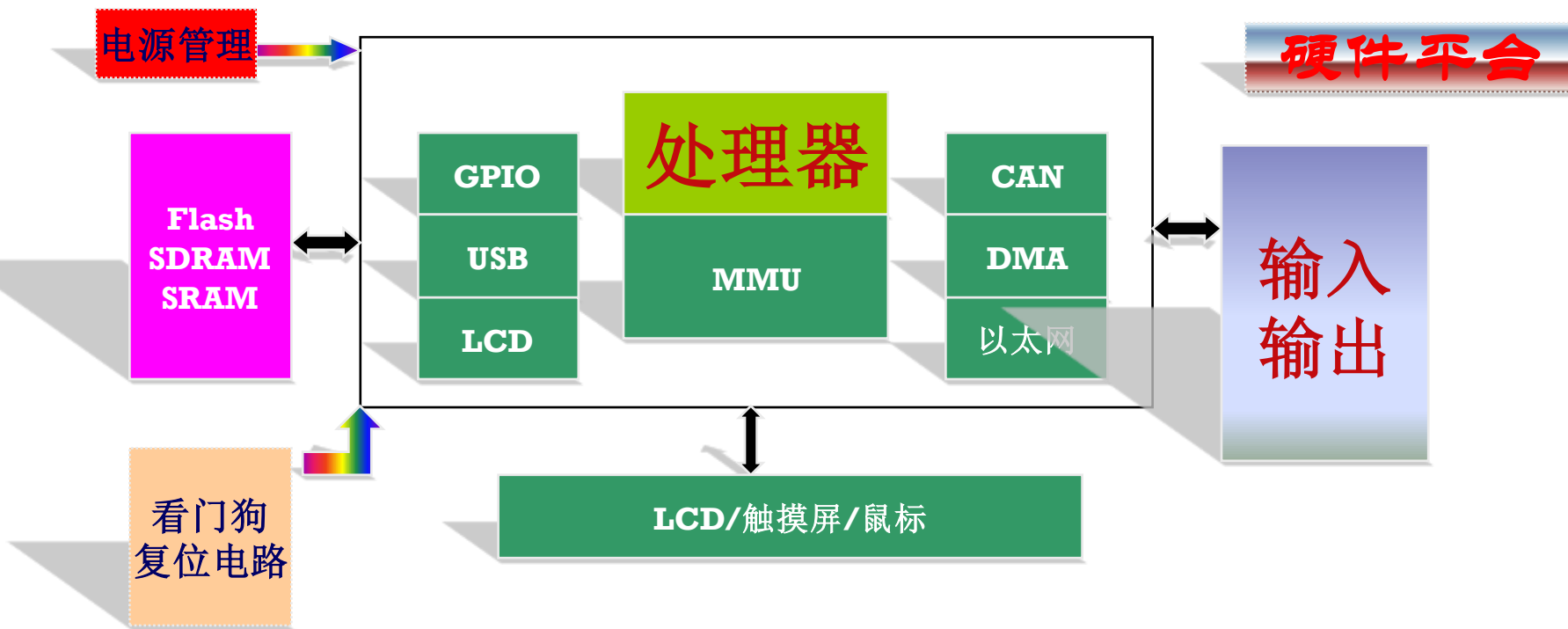


图1-1 典型嵌入式系统的组成结构

1.2 嵌入式系统体系

1.2.1 硬件架构

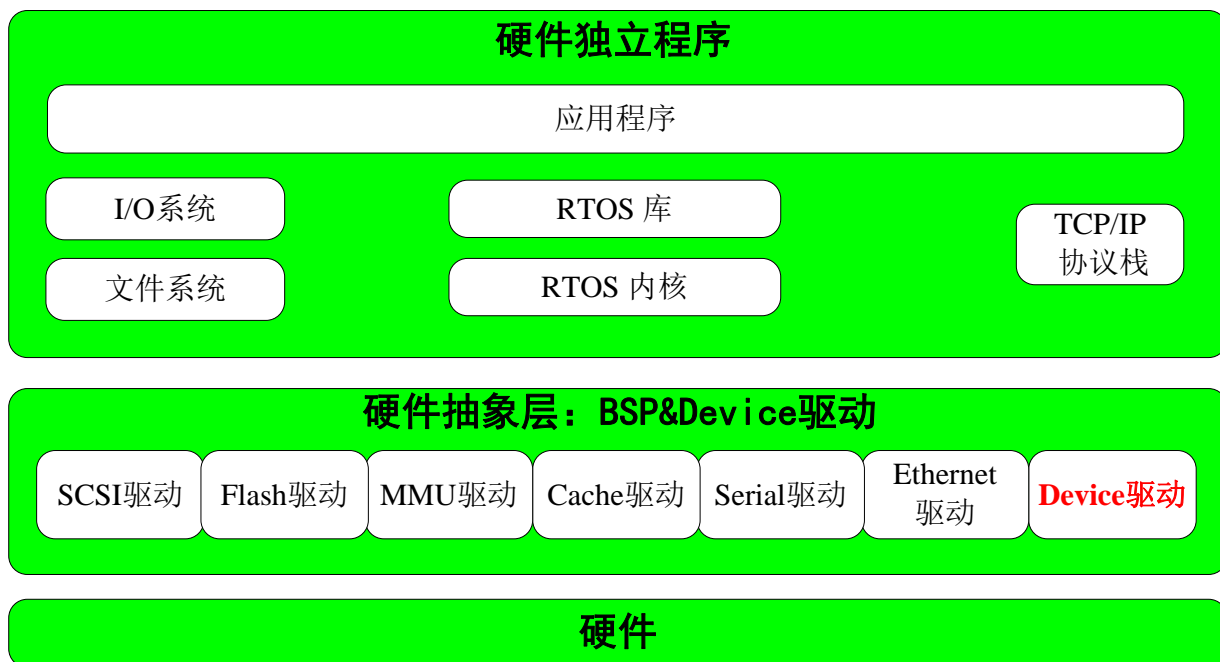
嵌入式系统的硬件架构以嵌入式处理器为核心，由存储器、外围设备、通信模块、电源及复位等必要的辅助接口组成。



1.2 嵌入式系统体系

1.2.2 软件层次

嵌入式系统软件结构一般包含**3**个层面：设备驱动层、**OS**层、应用层。由于嵌入式系统应用的多样性，需要根据不同的硬件电路和嵌入式系统应用的特点，对软件部分进行裁剪。**现代**高性能嵌入式系统的应用越来越广泛，嵌入式操作系统的使用成为必然发展趋势。



1.3 嵌入式硬件系统

1.3 嵌入式硬件系统

嵌入式系统硬件系统是以嵌入式处理器为核心，配备必要的外围设备、传感及执行等构成一个典型应用系统。在设计嵌入式硬件系统时，在满足应用要求的前提下，一般选择集成度高的嵌入式处理器**SoC/SOPC**芯片，以尽可能少的硬件构件进行设计。

1.3 嵌入式硬件系统

1.3.1 嵌入式处理器分类

在嵌入式应用领域中应用较多的还是各色嵌入式处理器。嵌入式处理器是嵌入式系统的核心，是控制、辅助系统运行的硬件单元。根据其现状，嵌入式处理器可以分为嵌入式微处理器、嵌入式微控制器、嵌入式DSP和嵌入式SoC。

据不完全统计，全世界嵌入式处理器的种类已经超过**1000**种，流行的体系结构有**30**多个。

1.3 嵌入式硬件系统

1.3.1 嵌入式处理器分类

1、嵌入式微处理器

- 与通用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。
- 嵌入式处理器有ARM、MIPS、PowerPC、龙芯系列等。
- 嵌入式微处理器可分为CISC和RISC 两类。



1.3 嵌入式系统平台

1.3.1 嵌入式处理器分类

ARM内核微处理器

- 主流。在移动应用市场占了绝大部分的市场份额。
- 包括ARM7系列、ARM9系列、ARM9E系列、ARM10E系列、SecurCore、ARM11、**Cortex-A**系列等。
- ARM是一个只卖知识产权（IP）的公司，目前获得购买了ARM核授权许可的大公司很多，包括华为、Qualcomm、Apple、Samsung、ST、NXP、TI等，他们都在ARM核的基础上进行了设计，形成自己的处理器。



1.3 嵌入式系统平台

1.3.1 嵌入式处理器分类

2、嵌入式微控制器MCU

- 嵌入式微控制器的典型代表是单片机。
- 单片机芯片内部集成ROM/EPROM、RAM、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、EEPROM等各种必要功能和外设。
- 嵌入式微控制器目前的品种和数量最多，比较有代表性通用系列包括8051、AVR、PIC、**ARM Cortex-M** 等。



1.3 嵌入式系统平台

1.3.1 嵌入式处理器分类

3、数字信号处理器DSP

- **DSP**处理器主要专门用于信号处理方面，其在系统结构方面进行了特殊设计，在数字滤波、FFT、频谱分析等密集数学运算领域有大规模的应用。
- **DSP**一般用在算法快速执行，做控制比较困难。为了追求高执行效率，不适合运行操作系统，**核心代码使用汇编**。
- 嵌入式**DSP** 处理器比较有代表性的产品是Texas Instruments的 **TMS320** 系列和Analog的**ADSP**系列。



1.3 嵌入式系统平台

1.3.1 嵌入式处理器分类

4、嵌入式SoC

- 单个芯片完成整个系统的主要逻辑功能。
- 重要发展趋势！

1.3 嵌入式系统平台

1.3.2 典型嵌入式处理器

1. ARM处理器

ARM处理器是英国**ARM**（**Advanced RISC Machines**）有限公司（以下简称“**ARM**公司”）设计的**RISC**处理器。

ARM公司是全球领先的半导体知识产权（**IP**）提供商。**ARM**公司是专门从事基于**RISC**技术芯片设计开发的公司，作为半导体知识产权提供商，本身不直接从事芯片生产，而是通过转让设计方案，由合作公司生产各具特色的芯片。

世界各大半导体生产商从**ARM**公司购买其设计的处理器内核，包括华为、**Qualcomm**、**Apple**、**SAMSUNG**、**ST**、**NXP**、**TI**等，根据各自需求，他们都在**ARM**处理器内核的基础上进行了扩展设计，形成自己的处理器，从而进入应用市场。

1.3 嵌入式系统平台

1.3.2 典型嵌入式处理器

1. ARM处理器

在“后PC”时代，**ARM**处理器占据了低功耗、低成本和高性能的嵌入式系统应用的大部分领域，特别是在移动市场，**ARM**处理器基本处于垄断地位，当前的智能手机的处理器基本都是各公司购买的**ARM**处理器内核开发出来的。例如，华为的麒麟980处理器、**SAMSUNG**的**Exynos 9 Series (9820)** 处理器。

ARM处理器分为经典处理器和**Cortex**处理器两大类。

(1) 经典处理器：主要有基于**ARMv3**或**ARMv4**架构的**ARM7**系列处理器、基于**ARMv5**架构的**ARM9**系列处理器，以及基于**ARMv6**架构的**ARM11**系列处理器。

(2) **Cortex**系列处理器：**ARM**公司在经典处理器**ARM11**以后的产品都改用**Cortex**命名，并分成**A**、**R**和**M**三类。

1.3 嵌入式系统平台

1.3.2 典型嵌入式处理器

2. MIPS

MIPS的意思是无内部互锁流水级的微处理器（**Microprocessor without interlocked piped stages**），其机制是尽量利用软件办法避免发生流水线中的数据相关问题，采用精简指令系统计算结构来设计芯片。

MIPS最早是在20世纪80年代初期由斯坦福（**Stanford**）大学**Hennessy**教授领导的研究小组研制出来的。1984年，**MIPS**计算机公司成立。1992年，**SGI**公司收购了**MIPS**计算机公司。1998年，**MIPS**计算机公司脱离**SGI**公司，成为**MIPS**技术公司。

1.3 嵌入式系统平台

1.3.2 典型嵌入式处理器

3. PowerPC处理器

PowerPC处理器是一种**RISC**架构的中央处理器（**CPU**），其基本的设计源自**IBM**（国际商业机器公司）的**IBM PowerPC 601**微处理器**POWER**（**Performance Optimized With Enhanced RISC**）架构。**PowerPC**处理器架构的特点是可伸缩性好、方便灵活。

4. 嵌入式SOPC

SOPC是一种特殊的嵌入式系统：首先，它是**SoC**，即由单个芯片完成整个系统的主要逻辑功能；其次，它是可编程系统，具有灵活的设计方式，可裁剪、易扩充、可升级，并具备软件和硬件在系统可编程的功能，可将**SOPC**视为基于**FPGA**解决方案的**SoC**。

- **Altera**: **Stratix10 SoC**系列**FPGA**集成了**ARM Cortex-A53**内核。**Cyclone V**系列**FPGA**集成了**ARM Cortex-A9**内核。
- **Xilinx**: **Zynq®-7000 AP**系列**FPGA**集成了**ARM Cortex-A9**内核。

4. 嵌入式SOPC

- 用可编程逻辑技术把整个系统放到一块硅片上，称作SOPC。可编程片上系统（SOPC）是一种特殊的嵌入式系统。
- 单个芯片完成整个系统的主要逻辑功能。
- 基于FPGA实现的SoPC技术，是现在嵌入式系统设计发展趋势之一。

1、Altera公司的FPGA，交叉使用ARM、MIPS以及Nios等多种内核。

2、Xilinx公司的FPGA，植入PowerPC结构处理器。



1.3 嵌入式系统平台

1.3.2 存储系统

存储器的主要功能是存储程序和各种数据，并能在计算机运行过程中高速、自动地完成程序或数据的存取，嵌入式系统的运作是围绕着存储在存储器中的指令和数据进行的，存储系统在嵌入式系统中的作用非常重要，存储系统需要根据应用和设计需求选择合适的存储器。

1. 随机存取存储器（易失性存储器）

随机存取是指随机存取存储器（**Random Access Memory, RAM**）存储单元的内容可按需随意取出或存入，读写速度很快，且速度与存储单元的位置无关。**RAM**在断电时将丢失其存储内容，**RAM**主要用于存储短时间使用的程序。

1.3 嵌入式系统平台

1.3.2 存储系统

- (1) 静态随机存储器 (**Static Random Access Memory, SRAM**)
- (2) 动态随机存取存储器 (**Dynamic Random Access Memory, DRAM**)
- (3) 同步动态随机存储器 (**Synchronous Dynamic Random Access Memory, SDRAM**)

1.3 嵌入式系统平台

1.3.2 存储系统

2. 只读存储器（非易失性存储器）

存储在只读存储器（**Read-OnlyMemory, ROM**）中的数据可以在掉电后不丢失，**ROM**主要用于存储程序和一些数据（常量、系数等），存储其中的数据只能读不能改，需要使用特定的方法擦除和烧录数据。

（1）只读存储器（**Read-OnlyMemory, ROM**）。

（2）电可擦除可编程ROM（**Electrically Erasable Programmable ROM, EEPROM**）。

1.3 嵌入式系统平台

1.3.2 存储系统

3. 闪存存储器（非易失性存储器）

闪存存储器又称**Flash**存储器，是电可擦除的**ROM**，在使用上与**EEPROM**类似。但是二者的寻址方法不同，存储单元的结构也不同，**Flash**存储器的电路结构较简单，同样容量占芯片面积较小，成本比**EEPROM**低。**Flash**存储器分为**NOR Flash**存储器和**NAND Flash**存储器。

(1) **NOR Flash**存储器。

(2) **NAND Flash**存储器。

(3) **eMMC**（**Embedded Multi Media Card**）存储器。

1.3 嵌入式系统平台

1.3.4 I/O接口

嵌入式系统中的**I/O**接口是指用于将各种集成电路与其他外围设备交互连接的通信通路或总线，负责处理器和外围设备之间的信息交换。目前嵌入式系统中常用的通用设备接口有**GPIO**接口（通用可编程接口）、**UART**接口（通用串行通信接口）、**Ethernet**接口（以太网接口）、**USB**接口（通用串行总线接口）、**I2C**接口（现场总线接口）、**I2S**接口、**SPI**接口（串行外围设备接口）、**CAN**总线接口、**Bluetooth**接口（蓝牙接口）、**Camera Link**接口、**SD卡**接口等。

1.3 嵌入式系统平台

1.3.5 人机接口

在嵌入式系统中的人机接口主要有键盘、鼠标、触摸屏和液晶显示器，用于实现人机之间的信息交互，人机接口在广泛应用于嵌入式系统中。目前，触摸液晶显示器在大部分场合可以代替键盘和鼠标，应用较多。

1.3 嵌入式系统平台

1.3.6 电源及其他设备

嵌入式系统的电源系统要求体积小、功耗低及较长的使用寿命，嵌入式系统的电源系统可以是线性电源（纹波小）、**DC-DC**（效率高、带负载能力强）和电池。在便携式应用中一般使用可充电电池，配以电源管理系统，以实现对整个电源的监控和管理。嵌入式系统常用电源的常用电压格式有**1.2V**、**1.8V**、**2.5V**、**3.3V**和**5V**。

1.4 嵌入式操作系统

1.4 嵌入式操作系统

嵌入式操作系统具有通用操作系统的基本特点，能够有效管理复杂的系统资源，并且把硬件虚拟化。嵌入式操作系统通常包括与硬件相关的底层驱动软件、系统内核、设备驱动接口、通信协议、图形界面、标准化浏览器等。嵌入式操作系统负责嵌入式系统的全部软件、硬件资源的分配、任务调度，控制、协调并发活动。

1.4 嵌入式操作系统

嵌入式操作系统特点

- 完成某一项或有限项功能。
- 在性能和实时性方面有严格的限制。
- 成本和可靠性通常是影响设计的重要因素。
- 占有资源少、易于连接。
- 系统功能可针对需求进行裁剪、调整，以便满足最终产品的设计要求。

1.4 嵌入式操作系统

1.4.2 嵌入式操作系统的分类

按照嵌入式操作系统对任务响应的实时性来分类，嵌入式操作系统可以分为嵌入式非实时操作系统和嵌入式实时操作系统（RTOS）。

1. 嵌入式非实时操作系统

嵌入式非实时操作系统主要面向消费类产品应用领域。大部分都支持多用户和多进程，负责管理众多的进程并为它们分配系统资源，属于不可抢占式操作系统。典型的非实时操作系统是Linux、iOS等。

2. 嵌入式实时操作系统

嵌入式实时操作系统主要面向控制、通信等领域。实时操作系统除了要满足应用的功能需求，还要满足应用提出的实时性要求，属于抢占式操作系统。典型的嵌入式实时操作系统有VxWorks、uCOS-III、QNX、FreeRTOS、eCos、RTX及RT-Thread等。

1.4 嵌入式操作系统

1.4.4 常用的嵌入式操作系统

1. uCOS-III

2. VxWorks

3. FreeRTOS

1.4 嵌入式操作系统

1.4.4 常用的嵌入式操作系统

4. RT-Thread

5. Linux

6. Android