



嵌入式程序设计

Programing Embedded Systems

Introduction

Version 1.0

西安电子科技大学

课程相关问题

- 任课教师：李龙海、付少锋
- 课程交流QQ群：XDCS嵌入式程序设计
群号：246013889
- 课程考核：
 - ▶ 平时成绩：10%
 - ▶ 实验成绩：20%
 - ▶ 考试成绩：70%
- 教材：已在QQ群里发了电子版教材

What is an embedded system

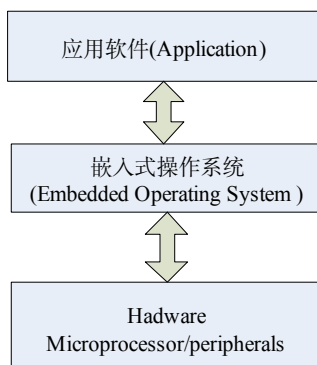
- An **embedded** system is a combination of **computer** hardware and software and perhaps additional parts, either mechanical or electronic designed to perform a **dedicated** function..
- Keywords:
 - 计算机系统: a Computer System
 - 专用: Dedicated Purpose, Not General Purpose
 - 嵌入: Embedded, Invisible, Unaware

Uniquenesses of embedded systems

1. 面向特定应用: 硬件软件在设计上量体裁衣、去除冗余;
2. 软硬件设计上尤其追求可靠性、性能和成本;
3. 软件代码尤其要求精简、高效、高质量、高可靠性
4. 嵌入式系统中的软件一般都固化在存储器芯片中或单片机本身, 而不是存储于磁盘中;
5. 嵌入式系统本身一般不具备二次开发能力, 用户通常不能在该平台上直接对程序功能进行修改;
6. 智能手机、平板电脑的出现模糊了嵌入式系统与通用计算机的界限。

Typical Architecture

- 嵌入式系统作为一类特殊的计算机系统，一般包括以下3个方面：硬件设备、嵌入式操作系统和应用软件



5

西安电子科技大学

Typical Architecture

- **嵌入式处理器**：将通用处理器中许多由主板完成的任务集成到芯片内部，从而有利于嵌入式系统在设计时趋于小型化，同时还具有很高的效率和可靠性。
ARM/PowerPC/MC68000/MIPS等
- **外围设备**：存储设备、通信设备、显示设备、人工交互输入设备、执行设备等。
- **嵌入式操作系统**：多任务、实时、内存管理、设备管理（常用驱动）、文件管理、网络协议栈、可移植、可裁剪、可固化
- **嵌入式应用软件**：完成特定任务

6

西安电子科技大学

嵌入式处理器简介

- 嵌入式系统的核心部件是各种类型的嵌入式处理器 按功能和内部结构等因素，嵌入式系统硬件平台可以分成：**嵌入式RISC微处理器、嵌入式CISC微处理器**

指 标	RISC	CISC
指令集	一个周期执行一条指令，通过简单指令的组合实现复杂操作；指令长度固定	指令长度不固定，执行需要多个周期
流水线	流水线每周期前进一步	指令的执行需要调用微代码的一个微程序
寄存器	更多通用寄存器	用于特定目的的专用寄存器
Load/Store结构	独立的Load和Store指令完成数据在寄存器和外部存储器之间的传输	处理器能够直接处理存储器中的数据

7

西安电子科技大学

ARM处理器简介

- ARM (Advanced RISC Machines) 有3种含义，它是一个公司的名称，是一类微处理器的通称，还是一种技术的名称。
- ARM公司是微处理器行业的一家知名企业，其设计了大量高性能、廉价、低功耗的RISC芯片，并开发了相关技术和软件。**ARM处理器具有高性能、低成本和低功耗的特点**，适用于嵌入式控制、消费/教育类多媒体、DSP和移动式应用等领域。
- ARM公司本身不生产芯片，靠转让设计许可**，由合作伙伴公司来生产各具特色的芯片。ARM这种商业模式的强大之处在于其价格合理，它在全世界范围的合作伙伴超过100个，其中包括许多著名的半导体公司。ARM公司专注于设计，设计的芯片内核耗电少，成本低，功能强，特有16/32位双指令集。**ARM已成为移动通信、手持计算和多媒体数字消费等嵌入式解决方案的RISC实际标准。**
- ARM处理器的产品系列非常广，包括ARM7、ARM9、ARM9E、ARM10E、ARM11和SecurCore、Cortex-A、Cortex-M、Cortex-R等。每个系列提供一套特定的性能来满足设计者对功耗、性能、体积的需求。SecurCore是单独一个产品系列，是专门为安全设备而设计的。

8

西安电子科技大学

ARM处理器简介

• ARM系列处理器属性比较

项 目	ARM7	ARM9	ARM10	ARM11
流水线深度	3级	5级	6级	8级
典型频率 (MHz)	80	150	260	335
功耗 (mw/ MHz)	0.06	0.19 (+Cache)	0.5 (+Cache)	0.4 (+Cache)
MIPS/ MHz	0.97	1.1	1.3	1.2
架构	冯·诺伊曼	哈佛	哈佛	哈佛
乘法器	8×32	8×32	16×32	16×32

嵌入式微控制器

- **嵌入式微控制器**将整个计算机系统或者一部分集成到一块芯片中。一般以某一种微处理器内核为核心，在芯片内部集成ROM、RAM、内部总线、定时/计数器、看门狗、I/O端口、串行端口等各种必要的功能和外设。最大特点：**单片化，实现同样功能时系统的体积大大减小（与微处理器比）**。
- 嵌入式微控制器的品种和数量较多，比较有代表性的通用系列包括Atmel公司的AT91系列、三星公司的S3C系列、Marvell公司的PXA系列等。

Embedded OSes widely used

- **Linux:**

- ▶ 标准内核裁剪Linux

- ▶ uCLinux、RT-Linux、风河Linux等

- **uC/OS-II:** 开源、可抢先的硬实时内核（硬实时、软实时），编译后不超过10KB（单片机）

- **VxWorks:** 风河公司的实时嵌入式OS，不开源

- **Windows CE/ Windows Mobile/ Windows Phone**

- **Android**

- **iOS**

11

西安电子科技大学

Embedded OSes widely used

- **嵌入式Linux**

版 本	简 介 绍
μCLinux	开放源码的嵌入式Linux的典范之作。
RT-Linux	由美国墨西哥理工学院开发的嵌入式Linux硬实时操作系统。
Embedix	根据嵌入式应用系统的特点重新设计的Linux发行版本。
XLinux	号称是世界上最小的嵌入式Linux系统。采用了“超字元集”专利技术，使Linux内核不仅能与标准字符集相容，还涵盖了12个国家和地区的字符集。
PoketLinux	PoketLinux由Agenda公司采用、作为其新产品“VR3 PDA”的嵌入式Linux操作系统。
红旗嵌入式Linux	由北京中科院红旗软件公司推出的嵌入式Linux，它是国内做得较好的一款嵌入式操作系统。
Montavista linux	MontaVista Linux是MontaVista Software于1999 年开始推出的，专门面向嵌入式系统的商业级操作系统。
风河linux	风河公司（著名的实时操作系统VxWorks的厂商）一直致力于嵌入式linux方面的研究和开发。

12

西安电子科技大学

Embedded OSes widely used

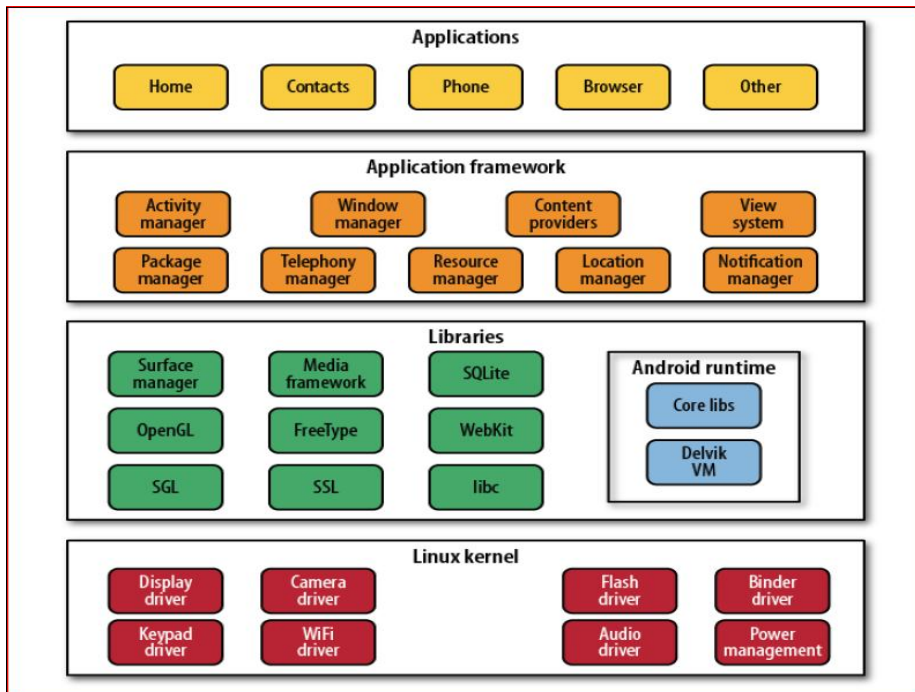
• μ C/OS-II

- μ C/OS-II是一种免费公开源代码、结构小巧、**基于优先级的可抢先的硬实时内核**。自从92年发布以来，在世界各地都获得了广泛的应用，它是一种专门为嵌入式设备设计的内核，目前已经被移植到40多种不同结构的CPU上，运行在从8位到64位的各种系统之上。
- μ C/OS-II主要适合小型实时控制系统，具有执行效率高、占用空间小、实时性能优良和可扩展性强等特点。最小内核可编译至2KB，如果包含内核的全部功能，编译之后的 μ C/OS-II内核仅有6-10KB。
- μ C/OS-II的源代码结构合理清晰易读，不仅成功应用在众多的商业项目中，而且被很多大学采纳，作为教学的范例，同时也是嵌入式工程师学习和提高的绝好材料。
- **单片机上应用较多**

Embedded OSes widely used

• VxWorks

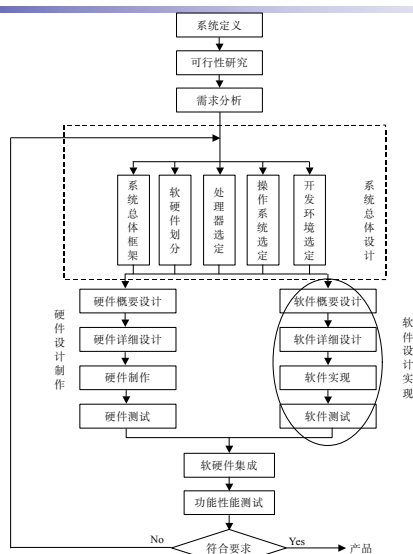
- VxWorks操作系统是美国WindRiver公司于1983年设计开发的一种嵌入式实时操作系统（RTOS），它是在当前市场占有率很高的嵌入式操作系统之一。
- VxWorks的实时性做得非常好，其系统本身的开销很小，进程调度、进程间通信、中断处理等系统公用程序精练而有效，使得它们造成的延迟很短。
- 另外VxWorks提供的多任务机制，对任务的控制采用了优先级抢占（Linux 2.6内核也采用了优先级抢占的机制）和轮转调度机制，这充分保证了可靠的实时性，并使同样的硬件配置能满足更强的实时性要求。
- 另外VxWorks具有高度的可靠性，从而保证了用户工作环境的稳定。同时，VxWorks还有完备强大的集成开发环境，这也大大方便了用户的使用。
- **成本较高**



What is unique about programming ES

- 软硬件协同设计
- 开发过程的特殊性: 交叉编译
- 调试过程的特殊性: 交叉调试
- 更关注可靠性、性能和成本
- 对程序员的要求更高:
 - Hardware knowledge, Interfaces between Hardware and Software
 - Efficient code, Minimal Resources
 - Robust code
 - Special Development Tools: Variable(变化大), not Powerful, tool chain
 - Deep understanding of programming language
- 编程语言: C(80%)、汇编(10%)、C++(7%)、Java(2%)、其他(1%)
- 大小: KB级

嵌入式系统开发过程



17

西安电子科技大学

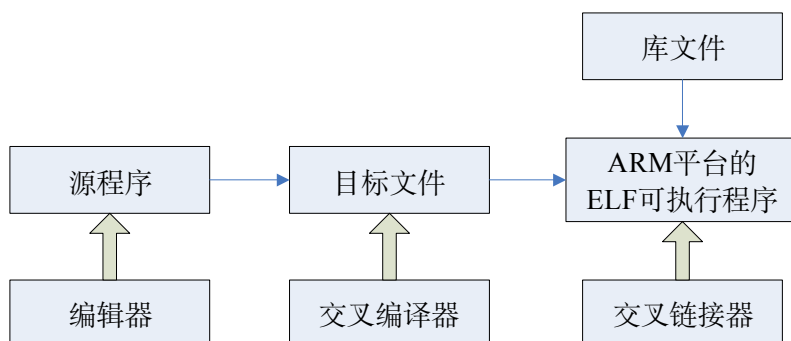
交叉编译 *Cross compiling*

- 宿主机
 - 普通的计算机，搭建开发环境（交叉编译），进行交叉编译
- 目标机
 - 通常称目标板，程序实际的运行环境
- 交叉编译
 - 宿主机与目标机硬件平台差异，CPU/指令体系不同
 - 宿主机与目标机操作系统差异，API不同
 - 在宿主机上基于源代码生成可以在目标机上执行的程序
 - 交叉编译器本身也是程序，是可以在宿主机上执行的程序，其输出是可以在目标机上执行的代码（对应指令体系结构）

18

西安电子科技大学

交叉编译 *Cross compiling*



19

西安电子科技大学

交叉调试 *Cross debugging*

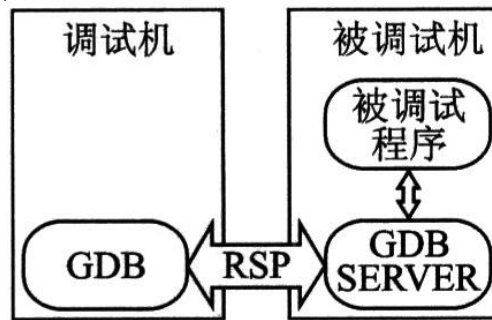
- 调试器和被调试进程运行在不同的机器上，调试器运行在PC机（**宿主机**），而被调试的进程则运行在**目标板**上。
- 调试器通过某种通信方式（串口、并口、网络、JTAG等）控制被调试进程。
- 在目标机上一般会具备某种形式的调试代理，它负责与调试器共同配合完成对目标机上运行着的进程的调试。这种调试代理可能是某些支持调试功能的硬件设备，也可能是某些专门的调试软件（如gdbserver）。
- 目标机可能是某种形式的系统仿真器，通过在宿主机上运行目标机的仿真软件，整个调试过程可以在一台计算机上运行。此时物理上虽然只有一台计算机，但逻辑上仍然存在着宿主机和目标机的区别。

20

西安电子科技大学

交叉调试：软件方式

- Gdb server作为调试桩运行在目标机上，Gdb client运行在宿主机上，二者通过串口，网卡(tcp/ip) 通信，通信协议为标准的gdb远程串行协议RSP
- 只能用于调试运行于目标操作系统之上的应用程序，不宜用来调试内核代码及启动代码

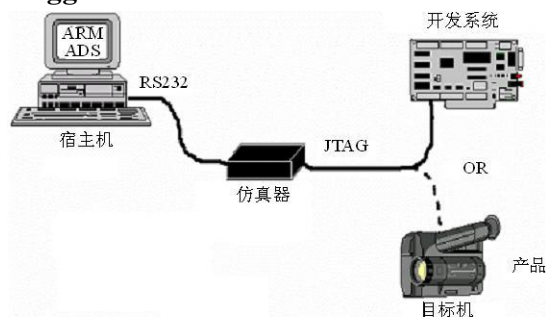


西安电子科技大学

21

交叉调试：硬件方式

- 硬件直接支持远程调试：监视内存、寄存器、设置断点
- 优点：对目标机性能影响小、可调试代码范围广
- 缺点：依赖于芯片厂商
- ICE: In-Circuit Emulator
- ICD: In-Circuit Debugger



22

图 1.7 交叉开发环境。

嵌入式系统发展趋势

- 提供强大的网络服务
 - 配有标准网络通信接口，支持TCP/IP协议簇，应用软件
- 小型化、低成本、低功耗
- 人性化的人机界面
 - 更方便的人机交互，多点触摸、语音控制
- 完善的开发平台

本章小结

- 嵌入式系统的基本概念，包括嵌入式系统的概念、特点以及其体系结构。在这里，重点要掌握嵌入式系统和通用计算机的区别，加深对嵌入式系统的理解。
- 概括性地讲解嵌入式处理器的分类和各个ARM系列处理器，结合实际开发板进行学习。不同的硬件平台都会有一定的区别，对于某些细节的不同处理需参阅对应厂商的用户手册。
- 讲解了嵌入式软件开发的流程，其中重点讲解了交叉编译和交叉调试

参考资料 *References*

- Programming Embedded Systems With C and GNU Development Tools, 2nd Edition. Chapter 1
- Fundamentals of Embedded Software, Where C and Assembly Meet. Chapter 1
- 嵌入式Linux应用开发教程（教材）. 第一章

课后复习 *Review after class*

- C语言中的位运算符：
 - & 按位与
 - | 按位或
 - ^ 按位异或
 - ~ 取反
 - << 左移
 - >> 右移
- 定点数、浮点数的内存表示，C语言中每种数据类型的内存表示
- C语言中宏的用法
- C语言中的structure、union、bitfield
- 自己阅读Fundamentals of Embedded Software, Where C and Assembly Meet的Chapter 2 和Chapter 3

课后练习 Exercises after class

1. 什么是嵌入式系统，它具有哪些特点？从各方面比较嵌入式系统与通用计算机的区别。
2. 嵌入式系统由哪些部分组成，常用的嵌入式操作系统有哪些，分别有什么特点？
3. CISC处理器和RISC处理器分别有哪些优点和缺点？
4. 什么是交叉编译？为什么要进行交叉编译？
5. 嵌入式开发的常用调试手段有哪几种？说出它们各自的优缺点。

课后练习 Exercises after class

利用C语言的位运算符实现5个函数，分别实现如下功能：

- 将输入的一个无符号整数的第i位置0 或置1
- 检测一个无符号整数的第i位置是0还是1？
- 在屏幕上输出一个整数的二进制表示
- 将一个16bit整数转化为BCD码表示
- 检测当前计算机是大端机还是小端机？
- 编写一个C语言的宏函数，将4个unsigned char型变量合成一个unsigned int型变量

2020年3月15日前交至：forest_fu@qq.com

邮件主题：学号姓名第一次作业，程序打包作为附件发送，附件命名方式：学号姓名.zip 或 学号姓名.rar