

ARM

嵌入式系统入门

三恒星科技 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

TP332/130

2008

ARM

嵌入式系统入门

三恒星科技 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书主要介绍嵌入式系统的基本概念、基本设计和基本应用。主要包括：嵌入式系统概述、ARM 7 体系结构、ARM 指令系统、Thumb 指令集、嵌入式汇编与 C 语言程序设计、基于 S3C44B0 的嵌入式系统、ADS 集成开发环境、 μ C/OS-II 简介、Linux 操作系统、典型应用实例。

本书力求在内容上紧跟新技术，强调实用性。通过本书的学习，可以使读者了解嵌入式系统的开发方法和流程。

本书可作为嵌入式开发学习的入门读物，也可作为各高等院校嵌入式教学的教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

ARM 嵌入式系统入门/三恒星科技编著. —北京：中国电力出版社，2008

ISBN 978-7-5083-6069-0

I. A… II. 三… III. 微处理器, ARM IV. TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 144713 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 1 月第一版 2008 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18 印张 442 千字

印数 0001—3000 册 定价 28.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

目前嵌入式系统技术已经成为了最热门的技术之一。嵌入式系统也已经全面渗透到日常生活的每一个角落。各种各样的新型嵌入式系统设备在应用数量上已经远远超过通用计算机,小到 MP3、PDA 等微型数字化产品,大到网络家电、智能家电、车载电子设备、数控机床、智能工具、工业机器人等。简单的有水表、电表、冰箱、洗衣机的控制系统,复杂的有飞船、卫星等航天设备的控制系统。

嵌入式系统包括可裁减的软件系统和同样可裁减的支持其运行的硬件系统组成。这些硬件包括常见的 51 单片机在内的各种 4 位、8 位、16 位、32 位单片机。在我国比较常见的是基于 ARM 公司授权的,由 TI、三星、英特尔、高通、菲力普等众多公司生产的各种 32 位嵌入式单片机。随着 ARM 公司的 ARM1 到目前的 ARM11 系列版本的升级,各个公司的嵌入式单片机也推出了各种版本,如三星公司的 S3C44B0X (ARM7)、S3C2410 (ARM9),英特尔公司的 Xscale PXA270 (ARM10),三星公司的 S3C6400 (ARM11) 等。

由于 ARM9 以上版本支持 WINCE、LINUX 等常用操作系统,所以已经广泛应用于手机,以及各种 PDA 等设备中。但由于价格和封装形式,以及简单易学等原因,使得 ARM7 更适合于嵌入式的初学者。就目前来说,ARM7 在工业领域的应用有着非常大的前景。

本书以 ARM7 为主介绍嵌入式系统的基本概念、基本设计和基本应用方法,所有实验均采用北京三恒星科技公司 (www.sanhengxing.com) 以 ARM7 芯片 S3C44B0 开发的 SHX-ARM7A 学习板。

本书第 1 章 嵌入式系统概述,主要介绍了嵌入式系统的基础知识。第 2 章 ARM 7 体系结构,主要介绍 ARM 7 体系结构,具体包括 ARM 处理器系列、ARM 存储器接口、ARM 工作模式,ARM 寄存器,ARM 地址空间分布等知识。第 3 章 ARM 指令系统,主要介绍 ARM 指令集,读者通过学习后应了解 ARM 指令集,以及各类指令对应的寻址方式,并根据各自特点进行具体编程应用。第 4 章 Thumb 指令集,主要介绍 Thumb 指令集,读者通过学习后应了解 Thumb 指令集,以及各类指令对应的寻址方式,并根据各自特点进行具体编程应用。第 5 章 嵌入式汇编与 C 语言程序设计,主要对编译环境下介绍 ARM 汇编语言 C 语言的程序设计。使读者初步了解汇编语言和 C 语言源程序的组成,并利用编译器如何进行编译。第 6 章 基于 S3C44B0 的嵌入式系统,主要介绍三星公司提供的 ARM7 微处理器微控制器 S3C44B0X。第 7 章 ADS 集成开发环境,主要介绍 ADS 1.2 版本的开发环境和使用方法。第 8 章 μ C/OS-II 简介,主要介绍嵌入式系统 μ C/OS-II。第 9 章 Linux 操作系统,主要介绍 μ Clinux 嵌入式操作系统。第 10 章 几个典型应用实例,主要介绍几个典型的实例,通过实例实验的整个过程来进一步了解和掌握运用 ARM7 进行嵌入式开发的流程。

本书由三恒星科技公司编写,参与本书编写的有赵光、刘群、赵文博、孙宁、赵辉、刘文涛、吴丽、王烁、赵艳。由于时间和水平等原因,本书难免存在一些错误和问题,欢迎广大读者给予讨论和指正。

北京三恒星科技公司

www.sanhengxing.com

2007 年 10 月

目 录

前 言

前言

第 1 章 嵌入式系统概述 1

- 1.1 嵌入式系统介绍 1
- 1.2 嵌入式系统的组成 5
- 1.3 嵌入式系统的软硬件协同设计 10
- 1.4 嵌入式开发环境 13

第 2 章 ARM 7 体系结构 15

- 2.1 ARM 处理器介绍 15
- 2.2 ARM 存储器接口 20
- 2.3 ARM 处理器工作状态 22
- 2.4 ARM 处理器工作模式 22
- 2.5 ARM 寄存器 23
- 2.6 异常 (Exceptions) 30
- 2.7 中断延迟 35
- 2.8 复位 35
- 2.9 存储器及存储器映射 I/O 35
- 2.10 协处理器 38

第 3 章 ARM 指令系统 39

- 3.1 ARM 处理器寻址方式 39
- 3.2 ARM 指令集 43
- 3.3 跳转指令 50
- 3.4 数据处理指令 53
- 3.5 移位指令 67
- 3.6 存储器访问指令 69
- 3.7 协处理器指令 86
- 3.8 未定义的指令空间 90
- 3.9 ARM 浮点指令集 91
- 3.10 ARM 指令应用实例 97

第 4 章 Thumb 指令集 99

- 4.1 Thumb 指令概述 99
- 4.2 Thumb 指令集与 ARM 指令集的区别 101

4.3	Thumb 指令集基础	103
4.4	Thumb 指令集中的数据处理指令	106
4.5	Thumb 存储器访问指令	113
4.6	跳转指令	124
4.7	软件中断指令	128
4.8	ARM 指令和 Thumb 指令的兼容性	129
4.9	Thumb 指令应用实例	130
→	第 5 章 嵌入式汇编与 C 语言程序设计	132
5.1	伪指令	132
5.2	汇编语言程序的基本概念	159
5.3	汇编语言的格式	160
5.4	汇编语句中的表达式	163
5.5	嵌入式程序开发的流程	166
5.6	C 语言程序的概述	168
5.7	C 语言的基础知识	169
5.8	程序结构	179
→	第 6 章 基于 S3C44B0 的嵌入式系统	184
6.1	S3C44B0 处理器介绍	184
6.2	S3C44B0X 存储控制器功能及应用开发	189
6.3	S3C44B0X I/O 端口功能及应用开发	194
6.4	S3C44B0X 存储器应用编程	196
→	第 7 章 ADS 集成开发环境	197
7.1	ADS 集成开发环境简介	197
7.2	CodeWarrior 集成开发环境	199
7.3	连接器 armLink	208
7.4	调试器	210
7.5	仿真器	215
7.6	固化程序	216
→	第 8 章 μC/OS-II 简介	221
8.1	μ C/OS-II 应用程序基本结构	221
8.2	任务管理函数	222
8.3	系统中断与时钟节拍	223
8.4	μ C/OS-II 多任务实现机制分析	225
8.5	在 S3C44B0X 上移植 μ C/OS-II	226

第9章 Linux 操作系统 233

- 9.1 Linux 操作系统介绍 233
- 9.2 Linux 嵌入式操作系统 237
- 9.3 μ Clinux 开发环境 244
- 9.4 构建 μ Clinux 开发环境 255
- 9.5 系统引导和内核启动 258

第10章 典型应用实例 263

- 10.1 实例环境介绍 263
- 10.2 LED 流水灯设计实例 263
- 10.3 数码管显示设计实例 266
- 10.4 多任务实例 274

嵌入式系统概述

本章介绍了嵌入式系统的基础知识。通过对嵌入式系统的开发流程、嵌入式系统组成(嵌入式操作系统和嵌入式控制器),以及它的发展趋势的学习,读者将对嵌入式系统建立整体的概念。这些基础内容是进行应用程序编程工作的首要基础。



1.1 嵌入式系统介绍

嵌入式的发展越来越广泛,被应用到各个产业中,并逐步改变着这些产业,包括工业自动化、国防、运输和航天领域,以及智能家电、视听、工作场所,甚至健身设备中到处都存在嵌入式系统,这种广泛的应用极大的延伸了嵌入式系统的概念。下面我们将介绍它的概念、应用及发展趋势。

1.1.1 嵌入式系统的概念

什么是嵌入式系统?根据国际电气和电子工程师协会的定义:“嵌入式系统为控制、监视或辅助设备、机器甚至工厂操作的装置”。

嵌入式系统具备以下四项特性:通常执行特定功能;以微电脑与外围构成核心;严格的时序与稳定性要求;全自动操作循环。

这主要是从应用对象上加以定义,涵盖了软硬件及辅助机械设备。在我国内也有一种普遍认同的嵌入式系统定义:嵌入式系统是以应用为中心,以计算机技术为基础、软件硬件可裁减、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。相比较而言,国内的定义更全面一些,更能体现嵌入式系统的“嵌入”、“专用”,“计算机”的基本要素和特征。

嵌入式系统是将计算机技术、通信技术、半导体技术、微电子技术、语音图像数据传输技术、甚至传感器等先进技术和具体应用对象相结合后的更新换代产品,这一点就决定了它必然是一个技术密集、投资强度大、高度分散、不断创新的知识密集型系统,反映当代最新技术的先进水平。嵌入式系统不仅和一般的PC机上的应用系统不同,就是与针对不同的为某些具体应用而设计的嵌入式系统差别也很大。嵌入式系统一般功能单一,兼容性方面要求不高,但是在大小,成本方面限制较多。

嵌入式计算机基本上不能算是嵌入式系统,仍然是计算机的一类,不过是工作条件有所不同而已,因为它还保留了计算机的基本功能。嵌入式计算机在应用数量上远远超过了各种通用计算机,一台通用计算机的外部设备中就包含了5~10个嵌入式微处理器,键盘、鼠标、软驱、硬盘、显示卡、显示器、Modem、网卡、声卡、打印机、扫描仪、数字相机、USB集线器等均是由嵌入式处理器控制的。



1.1.2 嵌入式系统的特征

20 世纪七八十年代, 各种嵌入式操作系统得到了蓬勃的发展, 随着 Internet 的飞速发展, 面向 Internet 的嵌入式系统的操作系统已成为主流产品。除了从它的定义直接能看出的特点外, 嵌入式系统还具有以下特征。

1. 嵌入式系统产品的特征

嵌入式系统是面向用户、面向产品、面向应用的, 嵌入式 CPU 与通用 CPU 最大不同就是嵌入式 CPU 大多工作在为特定用户群设计的系统中, 如果独立于应用自行发展, 则会失去市场。嵌入式处理器通常都具有低功耗、体积小、集成度高等特点, 能够把通用 CPU 中许多由板卡完成的任务集成在芯片内部, 从而有利于嵌入式系统设计趋于小型化, 移动能力大大增强, 跟网络的耦合也越来越紧密。

嵌入式系统的硬件和软件都必须高效率地设计, 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, 这样才能在具体应用对处理器的选择面前更具有竞争力。嵌入式处理器要针对用户的具体需求, 对芯片配置进行裁剪和添加才能达到理想的性能, 但同时还受用户订货量的制约, 因此不同的处理器面向的用户是不一样的, 可能是一般用户、行业用户或单一用户。

嵌入式系统和具体应用有机地结合在一起, 它的升级换代也是和具体产品同步进行的, 因此嵌入式系统产品一旦进入市场, 具有较长的生命周期。嵌入式系统中的软件, 一般都固化在只读存储器中, 而不是以磁盘为载体, 可以随意更换, 所以嵌入式系统的应用软件生命周期也和嵌入式产品一样长。

另外, 各个行业的应用系统和产品与通用计算机软件不同, 很少发生突然性的跳跃, 嵌入式系统中的软件也因此更强调可继承性和技术衔接性, 发展比较稳定。嵌入式处理器的发展也体现出稳定性, 一个体系一般要存在 8~10 年的时间。一个体系结构及其相关的片上外设、开发工具、库函数、嵌入式应用产品是一套复杂的知识系统, 用户和半导体厂商都不会轻易地放弃一种处理器。

2. 嵌入式系统软件的特征

嵌入式处理器的应用软件是实现嵌入式系统功能的关键, 对嵌入式处理器系统软件和应用软件的要求也和通用计算机有所不同。

(1) 软件要求固态化存储。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单片机本身中, 而不是存储于磁盘等载体中。

(2) 软件代码高质量、高可靠性。尽管半导体技术的发展使处理器速度不断提高、片上存储器容量不断增加, 但在大多数应用中, 存储空间仍然是宝贵的, 还存在实时性的要求。为此要求程序编写和编译工具的质量要高, 以减少程序二进制代码长度, 提高执行速度。

(3) 系统软件 (OS) 的高实时性是基本要求。在多任务嵌入式系统中, 对重要性各不相同的任务进行统筹兼顾的合理调度是保证每个任务及时执行的关键, 单纯通过提高处理器速度是无法完成和没有效率的, 这种任务调度只能由优化编写的系统软件来完成, 因此系统软件的高实时性是基本要求。

(4) 多任务操作系统是知识集成的平台和走向工业标准化道路的基础。

1.1.3 嵌入式系统分类

根据不同的分类标准,嵌入式系统有不同的分类方法。

按照表现形式及使用硬件种类嵌入式系统可分为:

- (1) 芯片级嵌入,即嵌入式系统中使用含有程序或算法的处理器;
- (2) 模块级嵌入,即嵌入式系统中使用某个核心模块。

按照软件的实时性嵌入式系统可以分为:

- (1) 硬实时系统(工业实时控制系统);
- (2) 软实时系统(如消费类产品);
- (3) 非实时系统(如PDA)。

按照嵌入式系统的复杂程度,可以将嵌入式系统分为:

- (1) 单个微处理器,这类系统主要应用在小型设备中(如温度传感器、烟雾和气体探测器及断路器);
- (2) 不带计时功能的微处理器装置,这类系统可以应用在过程控制、信号放大器、位置传感器及阀门传动器中;
- (3) 带计时功能的组件,这类系统用于开关装置、控制器、电话交换机、电梯、数据采集系统、医药监视系统、诊断及实时控制系统等。

1.1.4 嵌入式系统的应用

嵌入式系统的核心部件是各种类型的嵌入式处理器,嵌入式系统是面向应用的,现今嵌入式技术已经渗透到各个领域。美国著名未来学家尼葛洛庞帝曾预言,嵌入式智能(电脑)工具将是PC和Internet之后最伟大的发明。

嵌入控制器因其体积小、可靠性高、功能强、灵活方便等许多优点,其应用已深入到工业、农业、教育、国防、科研以及日常生活等各个领域,对各行各业的技术改造、产品更新换代、加速自动化进程、提高生产率等方面起到了极其重要的推动作用。按应用范围可分为:

1. 工业应用

机电控制、工业机器人、过程控制、DDC控制、DCS控制、智能传感器,以及传统工业改造等,显然,在工业控制中嵌入式微控制器直接位于控制第一线,是工业自动化的关键部件之一。

2. 仪器仪表

智能仪器、智能仪表、医疗器械、色谱仪、示波器等。

3. 民用

电子玩具、电子字典、记事簿、游戏机、录像机、TV、VCD、DVD、复读机、照相机、投影仪、空调机、冰箱、洗衣机、防盗控制器、调制解调器、激光驱动器、红外驱动器、汽车点火控制器、变速器控制、防滑刹车、排气控制、避雷控制、节能控制、保安控制系统、农业节水控制系统等。

4. 电讯

智能线路运行控制等。



5. 导航控制

导弹控制、鱼雷制导、航天导航系统、电子干扰系统等。

6. 数据处理

图表终端、图文终端、复印机、硬盘驱动器、磁带机等。

7. 通信及网络

移动电脑、移动电话、电视机顶盒等方便上网进行信息交流和邮件传送等服务。

8. 农业、交通等

智能公路（导航、流量控制、信息监测与汽车服务）、植物工厂（特种植物工厂、无土栽培技术、智能种子工程）、虚拟现实 VR 机器人、信息家电（家用电器的网络化）等。

嵌入式微控制器的出现是计算机工程应用史上的一个里程碑。

1.1.5 嵌入式系统的发展趋势

以信息家电为代表的互联网时代嵌入式产品，不仅为嵌入式市场展现了美好前景，注入了新的生命；同时也对嵌入式系统技术，特别是软件技术提出新的挑战。这主要包括：支持日趋增长的功能密度、灵活的网络联接、轻便的移动应用和多媒体的信息处理，此外，当然还需应对更加激烈的市场竞争。

1. 嵌入式的应用软件越来越丰富、成熟

为了满足应用功能的升级，设计师们一方面采用更强大的嵌入式处理器如 32 位、64 位 RISC 芯片或信号处理器 DSP 增强处理能力；同时还采用实时多任务编程技术和交叉开发工具技术来控制功能复杂性，简化应用程序设计、保障软件质量和缩短开发周期。开发需要强大的开发工具和操作系统的支持，随着因特网技术的成熟、带宽的提高，ICP 和 ASP 在网上提供的信息内容日趋丰富、应用项目多种多样，像电话手机、电话座机及电冰箱、微波炉等嵌入式电子设备的功能不再单一，电气结构也更为复杂。

目前，如 WindRiver、Microsoft、QNX 和 Nuclear 等国外嵌入式实时操作系统产品，已进入我国市场的。我国也已自主开发嵌入式系统软件产品，如科银（CoreTek）公司的嵌入式软件开发平台 DeltaSystem，它不仅包括 DeltaCore 嵌入式实时操作系统，而且还包括 LamdaTools 交叉开发工具套件、测试工具、应用组件等；此外，中科院也推出了 Hopem 嵌入式操作系统。

2. 联网成为必然趋势

网络化、信息化的要求随着 Internet 技术的成熟、带宽的提高而日益提高，使得以往单一功能的设备结构更加复杂、功能更加强大。

随着互联网强有力的发展，为适应嵌入式分布处理结构和应用上网需求，嵌入式系统要求配备标准的一种或多种网络通信接口。针对现在外部联网要求，嵌入设备需配有通信接口，相应需要 TCP/IP 协议簇软件支持；由于家用电器相互关联（如防盗报警、灯光能源控制、影视设备和信息终端交换信息）及实验现场仪器的协调工作等要求，新一代嵌入式设备还需具备 IEEE1394、USB、CAN、Bluetooth 或 IrDA 通信接口，同时也需要提供相应的通信组网协议软件和物理层驱动软件。为了支持应用软件的特定编程模式，如 Web 或无线 Web 编程模式，还需要相应的浏览器，如 HTML、WML 等。

3. 支持小型电子设备实现小尺寸、低功耗和低成本

为满足这种特性,要求嵌入式产品设计者相应降低处理器的性能,限制内存容量和复用接口芯片。这就相应提高了对嵌入式软件设计技术要求。如选用最佳的编程模型和不断改进算法,采用Java编程模式,优化编译器性能。因此,既需要软件人员有丰富的经验,更需要发展先进嵌入式软件技术,如Java、Web和WAP等。

4. 提供精巧的多媒体人机界面

嵌入式设备之所以为亿万用户乐于接受,重要因素之一是它们与使用者之间的亲和力,自然的人机交互界面,如司机操纵高度自动化的汽车,主要还是通过习惯的方向盘、脚踏板和操纵杆。人们与信息终端交互要求以GUI屏幕为中心的多媒体界面。手写文字输入、语音拨号上网、收发电子邮件,以及彩色图形、图像已取得初步成效。目前一些先进的PDA在显示屏幕上已实现汉字写入、短消息语音发布,但离掌式语言同声翻译还有很大距离。

“越简单越是高科技”,嵌入式系统发展目标是专用电脑,实现“普遍化计算”,因此可以称嵌入式智能芯片是构成未来世界的“数字基因”。嵌入式微控制器或者说单片机好像是一个黑洞,会把当今很多技术和成果吸引进来。



1.2 嵌入式系统的组成

嵌入式系统是专用计算机应用系统,具有一般计算机组成的共性,也是由硬件和软件组成的。

1.2.1 嵌入式系统组成结构

嵌入式系统的架构是由嵌入式处理器、存储器等硬件,嵌入式系统软件和嵌入式应用软件组成的,图1-1完整的描述了嵌入式系统的软硬件各部分的组成结构。

具体的组成可以分为两大部分:嵌入式系统的硬件系统和嵌入式系统的软件系统。

嵌入式系统硬件部分是以嵌入式控制器为核心,并由存储器、外设器件及电源等必要的辅助接口组成的。在实际的设计应用中为了节省成本,嵌入式系统硬件配置的会非常精简,除了微处理器和基本的外围电路外,其余的可以根据需要进行裁剪和定制。嵌入式系统软件

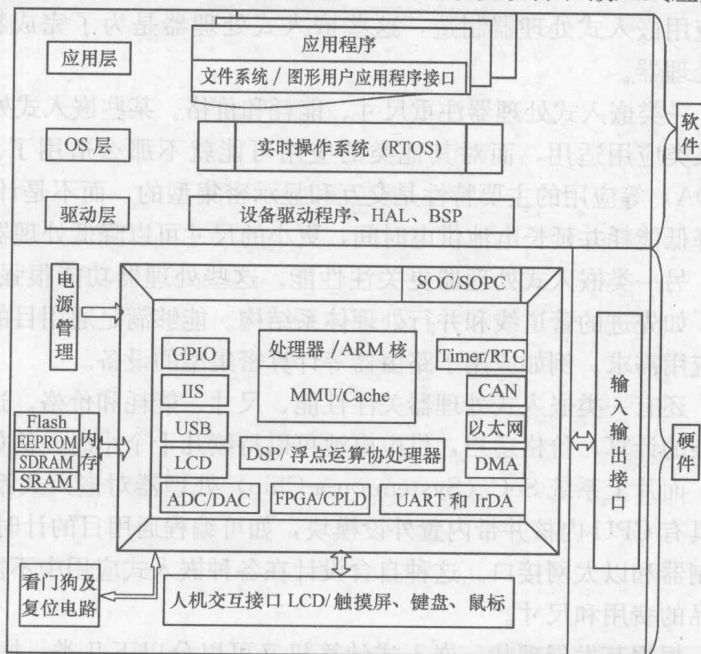


图 1-1 嵌入式软硬件组成结构



部分由嵌入式操作系统和嵌入式应用软件两大部分组成。在设计一个简单的应用程序时，可以不使用操作系统，但在设计较为复杂的程序时，可能就需要一个操作系统（OS）来管理和控制内存、多任务、周边资源等。依据系统所提供的程序界面来编写应用程序，可以大大减少应用程序员的负担。

对于使用操作系统的嵌入式系统来说，嵌入式系统软件结构一般包含 4 个层面：实时操作系统 RTOS、设备驱动层、应用程序接口 API 层、实际应用程序层。有的版本将应用程序接口 API 归属于 OS 层，如图 1-1 上半部分所示的嵌入式系统的软件结构。就是按照 3 层来划分的。由于硬件电路的可裁剪性和嵌入式系统本身的特点，其软件部分也是可裁剪的。

嵌入式系统的硬件是嵌入式系统软件环境运行的基础，它提供了嵌入式系统软件运行的物理平台的通信接口，使嵌入式系统的优越性能得以实现。嵌入式操作系统和嵌入式应用软件则是整个系统的控制核心，控制整个系统的运行，提供人机交互等。两者相辅相成，使嵌入式系统能够提供多种优越性能。

嵌入式系统的开发工具可以分为硬件开发工具和软件开发工具，硬件开发工具有在线实时仿真器和其他检测工具（示波器等）。软件开发工具包括编辑、交叉编译、链接、定位软件和调试软件等。

1.2.2 嵌入式处理器

普通个人计算机（PC）中的处理器是通用目的的处理器，具有先进的高速缓存逻辑，许多还具有执行快速浮点运算的内置数字协处理器，它们提供接口，支持各种各样的外部设备，而且能源消耗大，产生的热量多，尺寸也大。其复杂性意味着这些处理器的制造成本昂贵。近年来，随着大量先进的微处理器制造技术的发展，越来越多的嵌入式系统应用嵌入式处理器制造，这些嵌入式处理器是为了完成特殊的应用而设计的特殊目的的处理器。

一类嵌入式处理器注重尺寸、能耗和价格。某些嵌入式处理器限定其功能，即处理器只对某类应用适用，而对其他类的应用可能就不那么适用了。例如，应用于个人数字处理（PDA）等应用的主要特性是交互和显示密集型的，而不是计算密集型的设备。限制功能可以降低能耗并延长电池供电时间，更小的尺寸可以降低处理器的制造成本。

另一类嵌入式处理器更关注性能。这些处理器功能很强，并用先进的芯片设计技术包装，如先进的管道线和并行处理体系结构。能够满足通用目的处理器难以实现的密集型计算的应用需求。例如应用于路由器等计算密集型的设备。

还有一类嵌入式处理器关注性能、尺寸、能耗和价格。这些处理器可以飞快地实时执行复杂的计算，价格适当，供电电池可以持续几十个小时。例如应用于蜂窝电话等设备。

而片上系统 SoC（System-on-a-Chip）处理器对嵌入式系统有特别的吸引力。SoC 处理器具有 CPU 内核并带内置外设模块，如可编程通用目的计时器、可编程中断控制器、DMA 控制器和以太网接口。这种内含设计在各种嵌入式应用中不需要附加外部设备，减少了最终产品的费用和尺寸。

根据其发展现状，嵌入式计算机又可以分以下几类：嵌入式微处理器、嵌入式微控制器、嵌入式 DSP 处理器、嵌入式片上系统。

1. 嵌入式微处理器 (EmbeddedMicroprocessorUnit, EMPU)

嵌入式微处理器的基础是通用计算机中的 CPU。在应用中,将微处理器装配在专门设计的电路板上,只保留和嵌入式应用有关的母板功能,这样可以大幅度减小系统体积和功耗。为了满足嵌入式应用的特殊要求,嵌入式微处理器虽然在功能上和标准微处理器基本是一样的,但在工作温度、抗电磁干扰、可靠性等方面一般都做了各种增强。

嵌入式处理器具有体积小、重量轻、成本低及可靠性高的优点。嵌入式微处理器及其存储器、总线和外设等安装在一块电路板上,称为单板计算机,如图 1-2 所示。

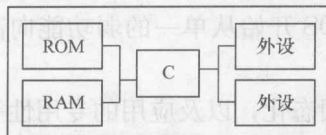


图 1-2 单板计算机

嵌入式处理器目前主要有 ARM、Am186/88、386EX、SC-400、PowerPC、68000、MIPS 系列等。这些嵌入式微处理器又可分为 CISC 和 RISC 两类。大家熟悉的大多数台式 PC 都是使用 CISC 微处理器,如 Intel 的 x86。RISC 结构体系有两大主流:SiliconGraphics 公司(硅谷图形公司)的 MIPS 技术,ARM 公司的 AdvancedRISCMachines 技术。此外 Hitachi(日立公司)也有自己的一套 RISC 技术 SuperH。

2. 嵌入式微控制器 (EmbeddedMicrocontrollerUnit, EMCU)

嵌入式微控制器一般以某种微处理器内核为核心,芯片内部集成 ROM/EPROM、RAM、总线、总线逻辑、定时/计数器、WatchDog、I/O、串行口、脉宽调制输出、A/D、D/A、FlashRAM 和 EEPROM 等各种必要功能和外设,又称其为单片机。

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。微控制器的片外资源比较丰富,适合于控制。比较有代表性的嵌入式微控制器有 8051、P51XA、MCS-251、MCS-96/196/296、C166/167、MC68HC05/11/12/16、68300 和 ARM 芯片等。

3. 嵌入式 DSP (EmbeddedDigitalSignalProcessor, EDSP)

DSP 处理器采用哈佛结构,适合于执行 DSP 算法,编译效率较高,指令执行速度高。在数字滤波、FFT、谱分析等方面 DSP 算法正在大量进入嵌入式领域,DSP 应用正在从通用单片机中以普通指令实现 DSP 功能,过渡到采用嵌入式 DSP 处理器。

嵌入式 DSP 处理器有代表性的产品有 TI 的 TMS320 系列和 Motorola 的 DSP56000 系列。

4. 嵌入式片上系统 (SystemonChip, SoC)

嵌入式片上系统即在一个硅片上实现一个更为复杂的系统。各种通用处理器内核将作为 SoC 设计公司的标准库,和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,用标准的 VHDL 等语言描述,存储在器件库中。用户只需定义出其整个应用系统,这样除个别无法集成的器件以外,整个嵌入式系统大部分均可集成到一块或几块芯片中去,应用系统电路板将变得很简洁,可以减小体积和功耗、提高可靠性。

SoC 可以分为通用和专用两类。通用系列包括 Infineon (Siemens) 的 TriCore、Motorola 的 M-Core、某些 ARM 系列器件、Echelon 和 Motorola 联合研制的 Neuron 芯片等。专用 SoC 一般专用于某个或某类系统中。比较有代表性的产品是 Philips 的 SmartXA,它将 XA 单片机内核和支持超过 2048 位复杂 RSA 算法的 CCU 单元制作在一块硅片上,形成一个可加载 JAVA 或 C 语言的专用的 SoC,可用于公众互联网(如 Internet)安全方面。



1.2.3 嵌入式操作系统

以嵌入式处理器为中心,开发人员搭建好硬件电路时仅提供了裸机运行平台,要使整个系统有限的硬件资源充分利用起来,需要嵌入式操作系统的软件支持。

1. 嵌入式操作系统简介

嵌入式操作系统 EOS (Embedded Operating System) 是一种用途广泛的系统软件。嵌入式操作系统负责嵌入式系统的全部软、硬件资源的分配和调度工作,控制协调活动。它必须体现其所在系统的特征,能够通过装卸某些模块来达到系统所要求的功能。随着 Internet 技术的发展、信息家电的普及应用及 EOS 的微型化和专业化, EOS 开始从单一的弱功能向高专业化的强功能方向发展。

嵌入式操作系统在实时高效性、硬件的相关依赖性、软件固态化,以及应用的专用性等方面具有较为突出的特点。它相对于一般操作系统而言的,它除具备了一般操作系统最基本的功能,如任务调度、同步机制、中断处理、文件功能等外,还有以下特点:

- (1) 可装卸性。开放性、可伸缩性的体系结构。
- (2) 强实时性。嵌入式系统实时性一般较强,可用于各种设备控制当中。
- (3) 提供接口驱动。提供各种设备驱动接口。
- (4) 操作方便、简单、提供友好的图形 GUI,图形界面追求易学易用。
- (5) 提供强大的网络功能,支持 TCP 门 IP 协议及其他协议,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。
- (6) 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。嵌入式操作系统一般不提供操作命令,它通过系统调用命令向用户程序提供服务。
- (7) 固化代码。在嵌入系统中,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。
- (8) 更好的硬件适应性,也就是良好的移植性。

2. 典型嵌入式操作系统

目前流行的比较常用的嵌入式操作系统有嵌入式 Linux、WindowsCE、VxWorks、pSOS、Nucleus、eCos、 μ C/OS-II。

(1) 嵌入式 Linux。Linux 是开放源代码的、内核小、效率高、内核的更新速度很快、免费的操作系统,在价格上极具竞争力。

μ Clinux 从 Linux 2.0/2.4 内核派生而来,沿袭了主流 Linux 的绝大部分特性。它是专门针对没有 MMU 的 CPU,并且为嵌入式系统做了许多小型化的工作。适用于没有虚拟内存或内存管理单元 (MMU) 的处理器,如 ARM7TDMI。虽然它的体积很小,但仍然保留了 Linux 的稳定、良好的移植性、优秀的网络功能、完备的对各种文件系统的支持,以及标准丰富的 API 等优点。

(2) WindowsCE。WindowsCE 是微软开发的一个开放的、可升级的 32 位嵌入式操作系统。WindowsCE 是所有源代码全部由微软自行开发的嵌入式新型操作系统。WindowsCE 具有模块化、结构化和基于 Win32 应用程序接口,以及与处理器无关等特点。WindowsCE

不仅继承了传统的 Windows 图形界面,并且在 WindowsCE 平台上可以使用 Windows 的编程工具,如 VisualBasic、VisualC++ 等。

(3) 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占据一席之地。它以其良好的可靠性和卓越的实时性被广泛地应用在通信、军事、航空、航天等高精尖技术及实时性要求极高的领域中,如卫星通信、军事演习、弹道制导、飞机导航等。早期的 VxWorks 开发工具为 Tornado, Tornado 现已升级并更名为 WindBanch。

(4) pSOS。pSOSSystem 是美国系统集成公司 (ISI) 根据几十年从事嵌入式实时系统理论研究与实践活动而设计开发的实时嵌入式操作系统。pSOSSystem 集成了一整套嵌入式软件模块、工具和服务。作为嵌入式系统微内核设计的前驱者之一,ISI 公司将 pSOSSystem 构造成适于嵌入式应用系统开发、在嵌入式实时领域具有领导地位的实时操作系统。

pSOSSystem 的设计宗旨是为了实现高效、可靠、易于使用的嵌入式实时软件,以支持用户自己设计的或商品化的硬件系统。pSOSSystem 的每一部分都是完全“自包含”的,这种机制允许开发者根据每个应用的特殊要求对操作系统的功能和内存进行裁剪和配置。pSOSSystem 的这种设计,使得开发人员对简单的独立设备及复杂的可容错多处理机系统都可以灵活配置。pSOSSystem 提供了一套集成化的交叉开发工具以支持应用系统的开发。该集成环境可在 PC 机或工作站上运行。这些工具可通过多种连接机制与目标机通信。

(5) Nucleus。NucleusPlus 是美国源代码操作系统商 ATI 公司推出的新一代嵌入式操作系统,属于抢先式实时多任务操作系统内核,其 95% 的代码使用 ANSI C 编写,非常便于移植于各种处理器家族。同时可提供 Web 支持、网络、图形包、文件系统等模块。

NucleusPlus 以函数库的形式链接到目标应用程序中,形成可执行目标代码,下载到目标板上或烧到 ROM/FLASHROM 中去执行。用户只需通过 DLL 动态链接库便可进行任务级调试,无需编写 BSP。NucleusPlus 内核在典型的 CISC 体系结构上占据大约 20KB 空间,而在典型的 RISC 体系结构上占据空间为 40k 左右,其内核数据结构占据 1.5k 字节的空间。

NucleusPLUS 采用了软件组件的方法。每个组件具有单一而明确的目的,通常由几个 C 及汇编语言模块构成,提供清晰的外部接口,对组件的引用就是通过这些接口完成的。由于采用了软件组件的方法,使 NucleusPLUS 的各个组件非常易于替换和复用。

NucleusPlus 以其实时响应、抢先、多任务及源代码开放特性获得在通信、国防、工业控制、航空/航天、铁路、网络、POS、自动化控制、智能家电等领域的广泛应用。

(6) eCos。eCos 是 RedHat 公司开发的源代码开放的嵌入式 RTOS 产品,是一个可配置、可移植的嵌入式实时操作系统,设计的运行环境为 RedHat 的 GNUPro 和 GNU 开发环境。eCOS 的所有部分都开放源代码,可以按照需要自由修改和添加。eCOS 的关键技术是操作系统可配置性,允许用户组和自己的实时组件和函数以及实现方式,特别允许 eCOS 的开发则定制自己的面向应用的操作系统,使 eCos 能有更广泛的应用范围。

(7) $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 。 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 是一个源码公开、可移植、可固化、可裁剪、占先式的实时多任务操作系统。其绝大部分源码是用 ANSI C 编写的,使其可以方便的移植并支持大多数类型的处理器。

$\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 通过了联邦航空局 (FAA) 商用航行器认证。自 1992 年问世以来, $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$



已经被应用到数以百计的产品中。 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 占用很少的系统资源, 并且只要不是用于商业用途, 在高校教学使用是不需要申请许可证的。

这些操作系统种类繁多, 有商用型和免费型的。这里实时操作系统 Linux 是免费型的操作系统, 其功能强大、价格低廉、易于移植且程序源码全部公开。这些优点受到了很多用户的欢迎。

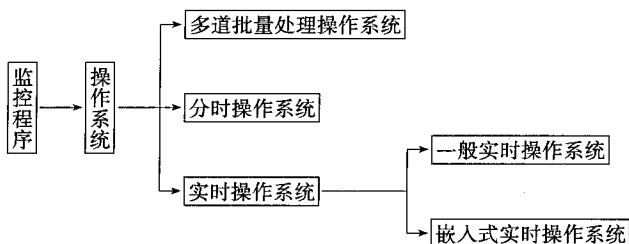


图 1-3 嵌入式系统的分类

3. 嵌入式操作系统的选择

嵌入式系统分类如图 1-3 所示。

由于具体嵌入式应用的功能需求差异, 以及不同嵌入式实时操作系统间不同的性能指标, 嵌入式实时操作系统的选择有以下 2 种方案:

(1) 考虑嵌入式 Linux (RT-Linux), 如 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 是开放源代码

的软件, 互联网技术论坛较多, 具备较好的裁减性以支持不同的应用范畴。

(2) 考虑系统需求和实时性能指标及性价比选择商用嵌入式实时操作系统, 如 WinCE、VxWorks。

当前全球范围内商用嵌入式实时操作系统多达 200 多种, 应用领域的多样性使得市场反应较好的也将近有十几种, 如 VxWorks、pSOS、Nucleus、QNX、WinCE、 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 等。

选择时重点是考虑它们的性能评价指标, 主要包括调度算法、嵌入式实时操作系统本身内存开销、嵌入式实时操作系统内存管理模式、最大中断禁止时间和最大任务切换时间。当然, 也包括嵌入式实时操作系统的购买成本和提供的技术支持等相关因素。针对实时性要求较高的应用, 需要重点考虑嵌入式实时操作系统的最大中断禁止时间和最大任务切换时间。这两个参数越小越好。减小这两个参数值, 除了选用较高工作主频的嵌入式处理器外, 还和嵌入式实时操作系统本身任务调度和中断处理机制密切相关。

选择嵌入式实时操作系统时, 通常还要考虑系统功能方面支持何种处理器硬件平台、何种 API, 是否支持核心态用户态, 是否支持内存管理单元 MMU、可移植性、调试支持、标准支持等。如果开发网络应用, 还需要考虑该嵌入式实时操作系统是否支持 TCP/IP 的网络组件和 I/O 服务等。如果开发游戏和娱乐市场, 要着重研究该嵌入式实时操作系统对多媒体的支持能力。市场应用需求的多样性, 使得嵌入式实时操作系统本身应该支持用户自定制能力, 根据应用需要在微内核的基础上选用标准组件。

1.2.4 适用于 ARM7 的嵌入式操作系统

比较常见的, 适用于 ARM7 的操作系统有两种, 一是 μClinux , 二是 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$, 作为比较成熟的软件, 两者都有在 ARM7 移植好的完整的实例。



1.3 嵌入式系统的软硬件协同设计

传统的嵌入式系统设计采用的是先硬件后软件嵌入式系统的系统设计模式, 即在只粗略估计软件任务需求的情况下, 首先进行硬件设计与实现。然后, 在此硬件平台之上, 再进行