



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

嵌入式系统

QIANRUSHI XITONG

戴胜华 编著

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

嵌入式系统

戴胜华 编著

中国铁道出版社

2008年·北京

内 容 简 介

本书以教学与实用为出发点,讲解了嵌入式系统的概念和基础知识,嵌入式实时操作系统的基本原理,嵌入式处理器指令系统及程序设计基础;介绍了 $\mu\text{C}/\text{OS} - \text{II}$ 及 μCLinux 操作系统;详细地给出了基于 ARM7 的 S3C44B0X 处理器相关知识,开发实验板的设计方法及详细电路,开发环境的建立与调试,嵌入式开发几个重要的基本实验。本书每章后都有适量习题,是全面学习、了解嵌入式系统原理与应用的入门与实用教材。

本书适合高等院校通信工程、自动化、电子科学与技术等相关专业的大学高年级学生或研究生用做课程教材或课程设计教材,也可作为从事嵌入式系统开发和设计人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式系统/戴胜华编著. —北京:中国铁道出版社, 2008. 5

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-113-08723-4

I. 嵌… II. 戴… III. 微型计算机—系统开发—高等学校—教材 IV. TP360.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 045839 号

书 名:嵌入式系统
作 者:戴胜华 编著

责任编辑:武亚雯 刘红梅 电话:010-51873132 电子信箱:wyyw716@163.com

封面设计:崔丽芳

责任校对:孙 玫

责任印制:金洪泽 陆 宁

出版发行:中国铁道出版社(北京市宣武区右安门西街8号 邮政编码:100054)

印 刷:中国铁道出版社印刷厂

版 次:2008年5月第1版 2008年5月第1次印刷

开 本:787mm×1092mm 1/16 印张:26 字数:613千

印 数:1~3000册

书 号:ISBN 978-7-113-08723-4/TP·2759

定 价:42.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部调换。

电 话:市电(010)51873170 路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)63549504 路电(021)73187

前 言

嵌入式系统是指以应用为核心,以计算机技术为基础,软硬件可裁剪,适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积和功耗严格要求的专用计算机系统。

嵌入式系统的应用领域包括科学研究、工业控制、交通通讯、医疗卫生、国防军事、消费娱乐等等。今天,几乎所有的电子设备里面都有嵌入式系统的影子。手机、MP3/MP4、GPS、掌上游戏机、机顶盒、智能家电,等等,这些嵌入式产品的典型代表正在影响着人们的生活,学习和应用嵌入式系统及其产品,逐渐成为当前热点之一。

伴随着微电子的发展,用于嵌入式设备的处理器速度越来越快,功能也越来越强大。嵌入式处理器核心公司 ARM 公司自 1990 年正式成立以来,在 32 位 RISC (Reduced Instruction Set Computer) CPU 开发领域不断取得突破,其结构已经从 V3 发展到 V7。由于 ARM 公司自成立以来,一直以 IP(Intelligence Property)提供者的身份向各大半导体制造商出售知识产权,而自己并不介入芯片的生产销售,并获得了巨大的成功,市场占有率达到 80% 以上。ARM 处理器从 ARM 7 发展到现在的 ARM 11 以及最新的 Cortex A9,已经形成了一系列的产品线,已经有越来越多的人开始从单片机系统开发渐渐地向基于 ARM 处理器的嵌入式系统开发过渡。

随着 ARM 处理器的广泛应用,得到了广大嵌入式操作系统厂家的支持,从而也使得目前针对 ARM 处理器的嵌入式软件操作系统也比较多,主要有 $\mu\text{C}/\text{OS} - \text{II}$ 、Linux、symbian OS、WinCE、VxWorks 等。目前来说嵌入式 $\mu\text{C}/\text{OS} - \text{II}$ 、Linux 操作系统在学习和应用 ARM 处理器上发展迅速。

本教材介绍的基于 ARM7TDMI 内核的三星公司生产的 S3C44B0X 微处理器,其内核功耗小、成本低、外设丰富并带有 LCD 控制器,因此非常适合学习嵌入式开发和作为移动手持终端的处理器。

学习嵌入式系统,最为关键的就是要多上机,多做实验,多看参考资料,关注同行的成果,在摸索中求进步。对于嵌入式系统

的设计则是要讲究其应用,因为只有合适的应用才真正决定了一个嵌入式系统的生存周期。同样,在系统设计的时候也要考虑到系统的可扩展性、可裁减性等问题,以及嵌入式系统设计的模块化等问题。很多的经验也只有从事了一定的系统设计之后才能真正地体会到。

本教材是在为北京交通大学研究生和高年级本科生开设的“嵌入式系统”课程的讲义的基础上多次修改而成的。在编写时力争做到内容紧凑、表达简捷,同时也注重实用性,充分考虑了嵌入式系统学习的规律,兼顾教学和应用的需要,对于广大高等院校高年级学生和硕士生而言是一本学习嵌入式系统开发的教科书;对于从事嵌入式系统开发工作者而言是一本实用的参考书。教材中基本实验的设计,是为了在较短的学时里掌握嵌入式系统的基本理论、开发流程和嵌入式系统的应用。在每章之后都有相应的思考题与习题。

本书由北京交通大学戴胜华编著,陈后金、侯建军主审。在本教材的编写过程中,参考了许多专家学者同行的成果,在此向他们表示感谢!感谢电子信息工程学院给予的大力支持!感谢研究生韩超、孟一飞、周兴、蔡弘、张沛、戴亮、张雅娟、韩鹏飞、马丽娜、吴福刚等在教材编写过程中做了大量工作!同时感谢很多学生提出的修改意见!

在编写过程中还重点参考了以下网站:优龙公司网站(<http://www.ucdragon.com>),嵌入式开发网站(<http://www.embedded.cn>),周立功单片机网站(<http://www.zlgmcu.com>), μ Clinux网站(<http://www.μClinux.org>);同时还参考了www.micrium.com网站2002年的 μ C/GUI user手册,ARM公司的ARM7TDMI(Rev4) Technical Reference Manual、ADS1.2 Online Books,2004~2007年的《IQ》杂志,Samsung Electronics的S3C44B0X User Manual,在此一并表示感谢!

虽然经过多次修订,教材中难免还会有一些错误和不妥之处,敬请批评指正。联系方式:dsh@bjtu.edu.cn。

戴胜华

2008年2月

于北京交通大学

目 录	
第 1 章 嵌入式系统概述	1
1.1 嵌入式系统	1
1.2 嵌入式系统组成结构	5
1.3 嵌入式系统发展历史	8
1.4 嵌入式产品的分类	11
1.5 嵌入式系统的发展趋势	11
思考题与习题	13
第 2 章 嵌入式实时操作系统基础	14
2.1 嵌入式实时操作系统概念	14
2.2 嵌入式实时操作系统的基本知识	19
2.3 使用实时内核的优缺点	25
2.4 实时多任务软件的设计方法	25
2.5 嵌入式实时操作系统及发展	27
思考题与习题	32
第 3 章 ARM 体系结构	33
3.1 ARM 处理器	33
3.2 ARM 体系结构	40
3.3 寄存器集	43
3.4 异常	48
思考题与习题	54
第 4 章 ARM 指令系统与程序设计	55
4.1 ARM 指令的寻址方式	55
4.2 指令集介绍	57
4.3 伪指令	70
4.4 汇编语言设计	83
思考题与习题	106

第5章 $\mu\text{C}/\text{OS} - \text{II}$ 与 μClinix 应用开发	107
5.1 $\mu\text{C}/\text{OS} - \text{II}$ 操作系统及移植条件	107
5.2 $\mu\text{C}/\text{OS} - \text{II}$ 在 S3C44B0X 上的移植	109
5.3 系统初始化	120
5.4 基于 S3C44B0X 和 $\mu\text{C}/\text{OS} - \text{II}$ 的应用实例	127
5.5 $\mu\text{C}/\text{OS} - \text{II}$ 下的图形用户界面(μCGUI)	133
5.6 μClinix 简介	150
5.7 μClinix 的开发流程	150
思考题与习题	159
第6章 S3C44B0X 处理器结构及原理	160
6.1 S3C44B0X 处理器介绍	160
6.2 S3C44B0X CPU 封装及总线优先级	173
6.3 S3C44B0X 存储器控制	178
6.4 S3C44B0X 时钟电源管理器	187
6.5 S3C44B0X 中断控制器与中断处理	193
6.6 S3C44B0X DMA 控制器	209
6.7 S3C44B0X 实时时钟	217
6.8 S3C44B0X 看门狗定时器	222
6.9 S3C44B0X PWM 定时器	224
6.10 S3C44B0X 通用 IO	233
6.11 S3C44B0X ADC	242
6.12 S3C44B0X LCD	247
6.13 S3C44B0X UART	262
6.14 S3C44B0X IIC 总线接口	275
6.15 S3C44B0X IIS 总线接口	282
6.16 S3C44B0X SIO	288
思考题与习题	291
第7章 基于 S3C44B0X 处理器的硬件设计	292
7.1 硬件设计概述	292
7.2 处理器资源的分配	293
7.3 电源模块设计	294
7.4 CPU 模块设计	296
7.5 内存模块设计	302
7.6 网络模块设计	307
7.7 USB 模块设计	309
7.8 数码管和键盘扫描电路	311
7.9 PCB 设计概述	314

7.10 设计清单总结	315
7.11 NORFLASH 的应用	316
思考题与习题	319
第 8 章 JD44BOX 开发板的软件及调试	320
8.1 调试工具、软件和方法	320
8.2 ADS 集成开发环境组成介绍	322
8.3 安装加载调试代理 H - JTAG	322
8.4 使用 ADS 的调试	326
8.5 使用 FLASHPGM 烧写 FLASH	337
8.6 使用 BootLoader 调试系统	340
8.7 S3C44BOX 初始化过程解析	344
8.8 JD44BOX 的 BootLoader	362
思考题与习题	366
第 9 章 嵌入式系统基本实验	368
9.1 实验平台简介	368
9.2 实验相关测试程序	369
9.3 嵌入式系统的基本实验	398
实验一:汇编语言实验	398
思考题与习题	398
实验二:C 语言的编程及外部中断的使用	398
思考题与习题	399
实验三:交通灯控制实验	399
思考题与习题	400
实验四:AD 输入数据采集	400
思考题与习题	401
实验五:IIC 温度采集	401
思考题与习题	401
实验六:基于 $\mu\text{C}/\text{OS} - \text{II}$ 的实验	402
思考题与习题	402
参考文献	403
附录 ARM 指令表	405

第1章 嵌入式系统概述

在当前数字信息技术和网络技术高速发展的后 PC(Post-PC)时代,嵌入式系统已经广泛地渗透到科学研究、工程设计、军事技术、各类产业和商业文化艺术以及人们的日常生活等方面。嵌入式系统无处不在,每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、网卡、声卡、打印机、数码相机、USB、集线器等均是由嵌入式处理器进行控制的。在制造业、过程控制、通信、仪器、仪表、汽车、航天、军事装备、消费类产品等方面,嵌入式计算机都有用武之地。嵌入式系统从小到一个芯片,大到一个标准的PC板,种类繁多,应用广泛。

事实上,嵌入式计算机在数量上远远超过了各种通用计算机,PC的各种输入输出和外部设备均是由嵌入式处理器控制的。美国著名未来学家葛洛庇帝曾预言:4~5年后,嵌入式智能产品将是继PC和因特网之后的最伟大的发明。

1.1 嵌入式系统

1.1.1 嵌入式系统概念

嵌入式系统一般指非PC系统,它包括硬件和软件两部分。硬件包括处理器/微处理器、存储器及外设器件和I/O端口、图形控制器等。软件部分包括操作系统软件(OS)(要求实时和多任务操作)和应用程序编程。有时设计人员把这两种软件组合在一起。应用程序控制着系统的运作和行为;而操作系统控制着应用程序编程与硬件的交互作用。

为了区别于原有的通用计算机系统,把嵌入到对象体系中并实现对象体系智能化控制的计算机,称作嵌入式计算机系统。因此,嵌入式系统诞生于微型机时代,嵌入式系统的嵌入性本质是将一个计算机嵌入到一个对象体系中去,这些是理解嵌入式系统的基本出发点。对象系统则是指嵌入式系统所嵌入的宿主系统。

嵌入式系统中有两个重要的概念:

■ 嵌入式处理器

嵌入式系统的核心,是控制、辅助系统运行的硬件单元。范围极其广阔,从最初的4位处理器,及目前仍在大规模应用的8位单片机,到最新的受到广泛青睐的32位、64位嵌入式CPU。

■ 实时操作系统(Real Time Operating System)

实时操作系统是嵌入式系统目前最主要的组成部分之一。根据操作系统的工作特性,实时是指物理进程的真实时间,通俗地说即在规定的时间内得到正确的结果。实时操作系统是具有实时性,能从硬件方面支持实时控制系统工作的操作系统。其中实时性是第一要求,需要调度一切可利用的资源完成实时控制任务,其次才着眼于提高计算机系统的使用效率,重要特点是要满足对时间的限制和要求。

1.1.2 嵌入式系统的定义

根据 IEEE(国际电机工程师协会)的定义,嵌入式系统是“控制、监视或者辅助装置、机器和设备运行的装置”(原文为 devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants)。这主要是从应用上加以定义的,从中可以看出嵌入式系统是软件和硬件的综合体,还可以涵盖机械等附属装置。

按照历史性、本质性、普遍性要求,嵌入式系统应定义为:“嵌入到对象体系中的专用计算机系统”。“嵌入性”、“专用性”与“计算机系统”是嵌入式系统的三个基本要素。

目前国内一个普遍被认同的定义是: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。

根据以上的定义,可从几方面来理解嵌入式系统:

■ 只要满足定义中三要素的计算机系统,称为嵌入式系统。嵌入式系统是一个嵌入式计算机系统,只有将嵌入式处理器构成一个计算机系统,并作为嵌入式应用时,这样的计算机系统才可称作嵌入式系统。嵌入式系统按形态可分为设备级(工控机)、板级(单板、模块)、芯片级[存储管理单元(MCU)、片上系统(SoC)]。

■ 嵌入式系统是面向用户、面向产品、面向应用的,它必须与具体应用相结合才会具有生命力、才更具有优势。因此可以这样理解上述三个面向的含义,即嵌入式系统是与应用紧密结合的,它具有很强的专用性,必须结合实际系统需求进行合理的裁减利用。

■ 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和各个行业的具体应用相结合后的产物,这一点就决定了它必然是一个技术密集、资金密集、高度分散、不断创新的知识集成系统。所以,介入嵌入式系统行业,必须有一个正确的定位。

■ 嵌入式系统必须根据应用需求对软硬件进行裁剪,满足应用系统的功能、可靠性、成本、体积等要求。所以,如果能建立相对通用的软硬件基础,然后在其上开发出适应各种需要的系统,是一个比较好的发展模式。目前的嵌入式系统的核心往往是一个只有几 K 到几十 K 微内核,需要根据实际的使用进行功能扩展或者裁减,但是由于微内核的存在,使得这种扩展能够非常顺利的进行。

■ 嵌入式系统与对象系统密切相关,其主要技术发展方向是满足嵌入式应用要求,不断扩展对象系统要求的外围电路(如 ADC、DAC、PWM、RTC、LCD、IIC、CAN、IIS、UART、WDT 等),形成满足对象系统要求的应用系统。

由以上定义可以看出,嵌入式系统的最大特点是其所具有的巨大的灵活性:系统的设计者可以根据不同的目的有针对性定制系统的软硬件和功能,这也是嵌入式系统与通用的计算机系统最主要的区别。嵌入式系统的结构如图 1-1 所示。

根据嵌入式系统的发展背景以及应用方向,它一般具备了下列五项特性:

(1) 执行特定的功能。

(2) 软硬件根据实际情况进行定制。

(3) 以微处理器内核与外围控制部件构成核心。

(4) 严格的时序与稳定性要求。

(5) 要求有较强的可靠性与实时性。

由于嵌入式系统具有如此众多的优点,因此日益受到广泛的关注和重视。当前,基于嵌入式系统的产品不仅数量众多,而且涉及计算机、通信、家电、过程控制、航空航天、军事、仪器、仪

表等各个行业。

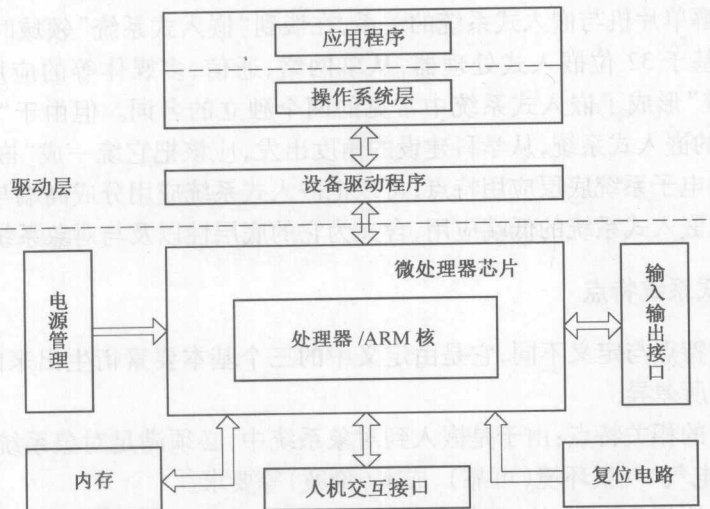


图 1-1 嵌入式系统的结构图

嵌入式系统硬件组成如图 1-2 所示。



图 1-2 嵌入式系统硬件组成图

1.1.3 嵌入式系统与单片机的关系

由于嵌入式系统有过很长的一段单片机的独立发展道路,大多是基于 8 位单片机,实现最底层的嵌入式系统应用,带有明显的电子系统设计模式特点。大多数从事单片机应用开发人员,都是对象系统领域中的电子系统工程师,加之单片机的出现,立即脱离了计算机专业领域,

以“智能化”器件身份进入电子系统领域,没有带入“嵌入式系统”概念。因此,不少从事单片机应用的人,不了解单片机与嵌入式系统的关系,在谈到“嵌入式系统”领域时,往往理解成计算机专业领域的,基于 32 位嵌入式处理器,从事网络、通信、多媒体等的应用。这样,“单片机”与“嵌入式系统”形成了嵌入式系统中常见的两个独立的名词。但由于“单片机”是典型的、独立发展起来的嵌入式系统,从学科建设的角度出发,应该把它统一成“嵌入式系统”。考虑到原来单片机的电子系统底层应用特点,可以把嵌入式系统应用分成高端与低端,把原来的单片机应用理解成嵌入式系统的低端应用,含义为它的底层性以及对象系统的紧耦合。

1.1.4 嵌入式系统特点

嵌入式系统的特点与定义不同,它是由定义中的三个基本要素衍生出来的。不同的嵌入式系统其特点会有所差异。

■ 与“嵌入性”的相关特点:由于是嵌入到对象系统中,必须满足对象系统的环境要求,如物理环境(小型)、电气/气氛环境(可靠)、成本(价廉)等要求。

■ 与“专用性”的相关特点:软、硬件的裁剪性;满足对象要求的最小软、硬件配置等。

■ 与“计算机系统”的相关特点:嵌入式系统必须是能满足对象系统控制要求的计算机系统。与上两个特点相呼应,这样的计算机必须配置有与对象系统相适应的接口电路。

另外,在理解嵌入式系统定义时,不要与嵌入式设备相混淆。嵌入式设备是指内部有嵌入式系统的产品、设备,例如内含嵌入式处理器的家用电器、仪器仪表、工控单元、机器人、手机、PDA 等。

这些年来掀起了嵌入式系统应用热潮的原因主要有几个方面:一是芯片技术的发展,使得单个芯片具有更强的处理能力,而且使集成多种接口已经成为可能,众多芯片生产厂商已经将注意力集中在这方面。另一方面的原因就是应用的需要,由于对产品可靠性、成本、更新换代要求的提高,使得嵌入式系统逐渐从纯硬件实现和使用通用计算机实现的应用中脱颖而出,成为近年来令人关注的焦点。

从上面的叙述可以看出,嵌入式系统的几个重要特征:

(1) 系统内核小。嵌入式系统通常是面向特定应用的嵌入式 CPU,通常都具有低功耗、体积小、集成度高等特点,系统资源相对有限,所以内核较之传统的操作系统要小得多,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。

(2) 专用性强。嵌入式系统的个性化很强,其中的软件系统和硬件的结合非常紧密,一般要针对硬件进行系统的移植,嵌入式系统的升级换代也是和具体产品同步进行,因此嵌入式系统产品一旦进入市场,具有较长的生命周期。

(3) 系统精简。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,嵌入式系统一般没有系统软件和应用软件的明显区分,不要求其功能设计及实现上过于复杂,这样一方面利于控制系统成本,同时也利于实现系统安全,这样的系统才更具有竞争力。

(4) 具有实时性的系统软件(OS)是嵌入式软件的基本要求。软件代码要求高质量和高可靠性,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要求固态存储(半导体存储),而不是存储于磁、光盘等载体中,这也是和普通计算机的主要区别之一。

(5) 嵌入式软件开发要想走向标准化,就必须使用多任务的操作系统。嵌入式系统的应用程序可以没有操作系统直接在芯片上运行;但是为了合理地调度多任务、利用系统资源、系统函数以及和专家库函数接口,用户必须自行选配 RTOS(Real-Time Operating System)开发

平台,这样才能保证程序执行的实时性、可靠性,并减少开发时间,保障软件质量。

(6)嵌入式系统开发需要开发工具和环境。由于其本身不具备自主开发能力,即使设计完成以后用户通常也是不能对其中的程序功能进行修改的,必须有一套开发工具和环境才能进行开发,这些工具和环境一般是基于通用计算机上的软硬件设备以及各种逻辑分析仪、示波器等。开发时往往有主机和目标机的概念,主机用于程序的开发,目标机作为最后的执行机,开发时需要交替结合进行。

1.2 嵌入式系统组成结构

嵌入式系统是硬件和软件的统一体。硬件主要是由嵌入式微处理器或微控制器组成的开发板,软件包括实时操作系统(RTOS)和系统应用软件,如图 1-3。

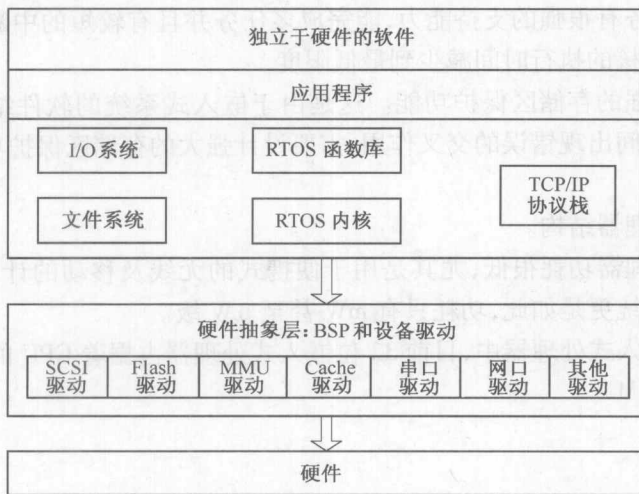


图 1-3 嵌入式系统软件结构

1. 嵌入式处理器系统

- 嵌入式处理器
- 各种类型存储器
- 模拟电路及电源
- 接口控制器及接插件

2. 嵌入式软件系统

- 实时操作系统(RTOS)
- 板级支持包(BSP)
- 设备驱动(Device Driver)
- 协议栈(Protocol Stack)
- 应用程序(Application)

1.2.1 嵌入式微处理器

嵌入式系统的核心是各种类型的嵌入式处理器。嵌入式处理器的体系结构经历了从 CISC(复杂指令集)到 RISC(精简指令集)和 Compact RISC 的转变;位数由 4 位、8 位、16 位、32

位发展到 64 位。

随着微电子技术的飞速发展, CPU 已经变成低成本器件, 很多新研发的产品和老产品改造使用嵌入式系统, 嵌入式系统中所使用的 CPU 数量已经超过通用 PC 中 CPU 数量的 30 倍, 有预测在 2001 ~ 2006 年期间, 32 位微控制器 (MCU) 的复合年增长率可达 22.6%。而全球 32 位 MCU 市场在 2003 年的增长幅度实际已超过 30%。

嵌入式微控制器一般以某种微处理器内核作为核心, 芯片内部集成了 ROM/EPROM、EEPROM、Flash、RAM、总线、总线逻辑、定时/计数器、I/O 口、A/D、D/A 等各种必要的功能和外设。

DSP 处理器对系统结构和指令进行了特殊设计, 使其适合于执行 DSP 算法, 编译效率高, 指令执行速度较快。嵌入式 DSP 处理器的长处在于能够进行向量运算、指针线性寻址等运算量较大的数据处理。

嵌入式微处理器一般具备以下 4 个特点:

(1) 对实时多任务有很强的支持能力, 能完成多任务并且有较短的中断响应时间, 从而使内部的代码和实时内核的执行时间减少到最低限度。

(2) 具有功能很强的存储区保护功能。这是由于嵌入式系统的软件结构已模块化, 而为了避免在软件模块之间出现错误的交叉作用, 需要设计强大的存储区保护功能, 同时也有利于软件诊断。

(3) 可扩展的处理器结构。

(4) 嵌入式微处理器功耗很低, 尤其是用于便携式的无线及移动的计算和通信设备中靠电池供电的嵌入式系统更是如此, 功耗只有 mW 甚至 μW 级。

在这些丰富的嵌入式处理器中, 目前 32 位嵌入式处理器占据着 CPU 的主流, 主要有:

- ARM/StrongARM
- PowerPC
- X86
- MIPS
- Coldfire
- DragonBall
- DSP

各处理器所占市场份额见图 1-4, 其中 ARM 在 32 位嵌入式处理器中占据着 80% 左右的市场份额。

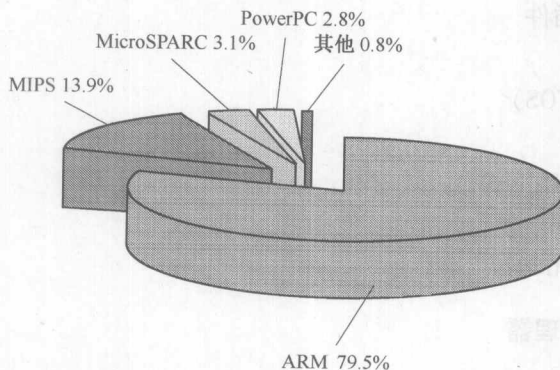


图 1-4 32 位嵌入式微处理器市场份额分配

1.2.2 嵌入式操作系统

嵌入式操作系统大多工作在对实时性要求很高的环境中,这样的操作系统往往称为实时多任务操作系统(Real-Time Operating System, RTOS)。从性能上讲,RTOS 和普通的 OS 存在的区别主要是在“实时”二字上。在实时计算中,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。从这个角度上看,可以把实时系统定义为“一个能够在指定或者确定的时间内,完成系统功能和对外部或内部、同步或异步时间做出响应的系统”。这就是嵌入式应用软件的基础和开发平台。

RTOS 是一段嵌入在目标代码中的程序,系统复位后首先执行,相当于用户的主程序。用户的其他应用程序都建立在 RTOS 之上的。不仅如此,RTOS 还是一个标准的内核,将 CPU 时间、中断、I/O、定时器等资源都包装起来,留给用户一个标准的 API 接口,并根据某个任务的优先级,合理地在不同任务之间分配 CPU 时间。RTOS 是针对不同处理器如 MPU、MCU、DSP、SOC 等提供类似的 API 接口。这是 RTOS 应用程序的开发基础。

RTOS 的结构如图 1-5 所示,其中,RTOS 的核心位于硬件抽象层和系统 API、网络模块、图形驱动函数库之间,占有重要的位置。

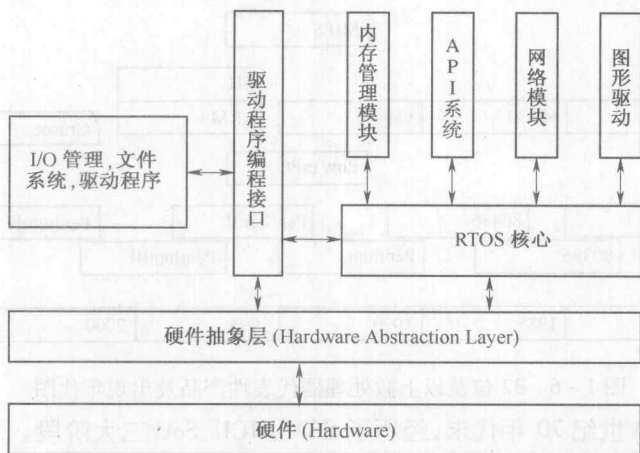


图 1-5 RTOS 体系结构

RTOS 具有如下的基本特征:

- 高效的任务管理,主要是支持多任务、优先级管理和任务调度。
- 基于优先级的抢占式调度、时间片轮转调度的算法。
- 支持快速而确定的上下文切换。
- 快速灵活的任务间通信,如信号量、消息队列、管道等。
- 高度的可剪裁性。

今天 RTOS 已经在全球形成了一个产业,在 2001 年底 RTOS 的市场已达到 6.6 亿美元。几种最常见的 RTOS 有: μ C/OS - II、 μ CLinux、WinCE、Symbian OS、VxWorks、pSOS、Nucleus、QNX、Hopen、RT - Linux 等。

1.3 嵌入式系统发展历史

嵌入式系统虽然起源于微型计算机时代,然而,微型计算机的体积、价位、可靠性都无法满足广大对象系统的嵌入式应用要求,因此,嵌入式系统必须走独立发展道路。这条道路就是芯片化道路。将计算机做在一个芯片上,从而开创了嵌入式系统独立发展的单片机时代。

1.3.1 嵌入式系统的发展

在探索单片机的发展道路时,有过两种模式,即“ Σ 模式”与“创新模式”。“ Σ 模式”本质上是通用计算机直接芯片化的模式,它将通用计算机系统的基本单元进行裁剪后,集成在一个芯片上,构成单片微型计算机;“创新模式”则完全按嵌入式应用要求设计全新的、满足嵌入式应用要求的体系结构、微处理器、指令系统、总线方式、管理模式等。Intel公司的MCS-48、MCS-51就是按照创新模式发展起来的单片形态的嵌入式系统(单片微型计算机)。MCS-51是在MCS-48探索基础上,进行全面完善的嵌入式系统。历史证明,“创新模式”是嵌入式系统独立发展的正确道路,MCS-51的体系结构也因此成为单片嵌入式系统的典型结构体系。32位及以上微处理器代表性产品及出现年代如图1-6。

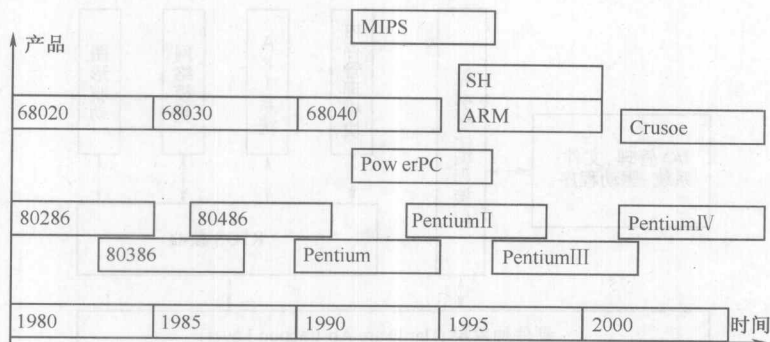


图 1-6 32 位及以上微处理器代表性产品及出现年代图

单片机诞生于 20 世纪 70 年代末,经历了 SCM、MCU、SoC 三大阶段。

(1) SCM 即单片微型计算机(Single Chip Microcomputer)阶段,主要是寻求最佳的单片形态嵌入式系统的最佳体系结构。“创新模式”获得成功,奠定了 SCM 与通用计算机完全不同的发展道路。

(2) MCU 即微控制器(Micro Controller Unit)阶段,主要的技术发展方向是:不断扩展满足嵌入式应用时,对象系统要求的各种外围电路与接口电路,突显其对象的智能化控制能力,它所涉及的领域都与对象系统相关。

(3) 单片机是嵌入式系统的独立发展之路,向 MCU 阶段发展的重要因素,就是寻求应用系统在芯片上的最大化解解决;因此,专用单片机的发展自然形成了片上系统 SoC 化趋势。随着微电子技术、IC 设计、EDA 工具的发展,基于 SoC 的单片机应用系统设计会有较大的发展。因此,对单片机的理解可以从单片微型计算机、单片微控制器延伸到单片应用系统。

1.3.2 嵌入式系统的两种应用模式

嵌入式系统的嵌入式应用特点,决定了它的多学科交叉特点。作为计算机的内涵,要求计

算机领域人员介入其体系结构、软件技术、工程应用方面的研究。然而,了解对象系统的控制要求,实现系统控制模式必须具备对象领域的专业知识。因此,从嵌入式系统发展的历史过程,以及嵌入式应用的多样性中,可以了解到客观上形成的两种应用模式。

1. 以电子技术应用工程师为主体的应用模式

在单片机时代,以电子技术应用工程师为主体,嵌入式系统以器件形态迅速进入到传统电子技术领域中,以实现传统电子系统的智能化,而计算机专业队伍并没有真正进入单片机应用领域。因此,电子技术应用工程师以自己习惯性的电子技术应用模式,从事单片机的应用开发。这种应用模式最重要的特点是:软、硬件的底层性和随意性;对象系统专业技术的密切相关性;缺少计算机工程设计方法。

2. 计算机专业工程师为主体的应用模式

随着后 PC 时代的到来,网络、通信技术得以发展;同时,嵌入式系统软、硬件技术有了很大的提升,为计算机专业人士介入嵌入式系统应用开辟了广阔天地。计算机专业人士的介入,形成的计算机应用模式带有明显的计算机的工程应用特点,即基于嵌入式系统软、硬件平台,以网络、通信为主的非嵌入式底层应用。一方面,计算机专业人士会愈来愈多地介入嵌入式系统应用,但由于对象专业知识的隔阂,其应用领域会集中在网络、通信、多媒体、商务电子等方面。另一方面,原来电子工程师在控制、仪器仪表、机械电子等方面的嵌入式应用也会长期存在下去。

客观存在的两种应用模式会长期并存下去,在不同的领域中相互补充。电子系统设计模式应从计算机应用设计模式中,学习计算机工程方法和嵌入式系统软件技术;计算机应用设计模式应从电子系统设计模式中,了解嵌入式系统应用的电路系统特性、基本的外围电路设计方法和对象系统的基本要求等。

1.3.3 单片机向嵌入式系统开发过渡

随着嵌入式系统设计技术的发展,已经在很多方面发生了很大的变化。这些与传统的 8 位 MCU 的开发有着许多明显的不同,如:

- 开发的复杂度大为提高:各种多媒体和通信手持设备、信息家电和复杂系统都需要更强大的 MCU 来完成复杂大数据量实时处理。

- 开发形式、手段和工具变化很大:随着开发对象复杂度的提高,软件开发的比重越来越大,复杂系统的设计必须由一个团队来分工合作完成。过去的开发要用的专用在线仿真器(ICE),只有在已调试好的硬件基础上,才能进行系统应用软件的调试。对于 32 位嵌入式处理器来说,随着时钟频率越来越高(50~400 MHz 以上),加上复杂的封装形式(如 BGA),ICE 已越来越难胜任开发工具的工作。目前方法是采用 JTAG 调试器,软件和硬件工程师并行工作。

- 开发平台的改进:为了提高时效,过去“一切自行设计”的模式已逐渐被“尽量采用具有 IP 的产品”所代替。RTOS 的引入解决了嵌入式软件开发标准化的难题,促进嵌入式开发软件的模块化和可移植化,为软件工程化管理打下基础。随着嵌入式系统中软件比重不断上升、应用程序越来越大,这对开发人员的知识结构、应用程序接口和程序档案的组织管理等都提出了新的要求。引入 RTOS 相当于引入了一种新的管理模式,对于开发单位和开发人员都是一个飞跃。

- 开发语言向高级语言转变:过去在 8/16 位 MCU 上开发大部分用汇编语言编写,随着 C