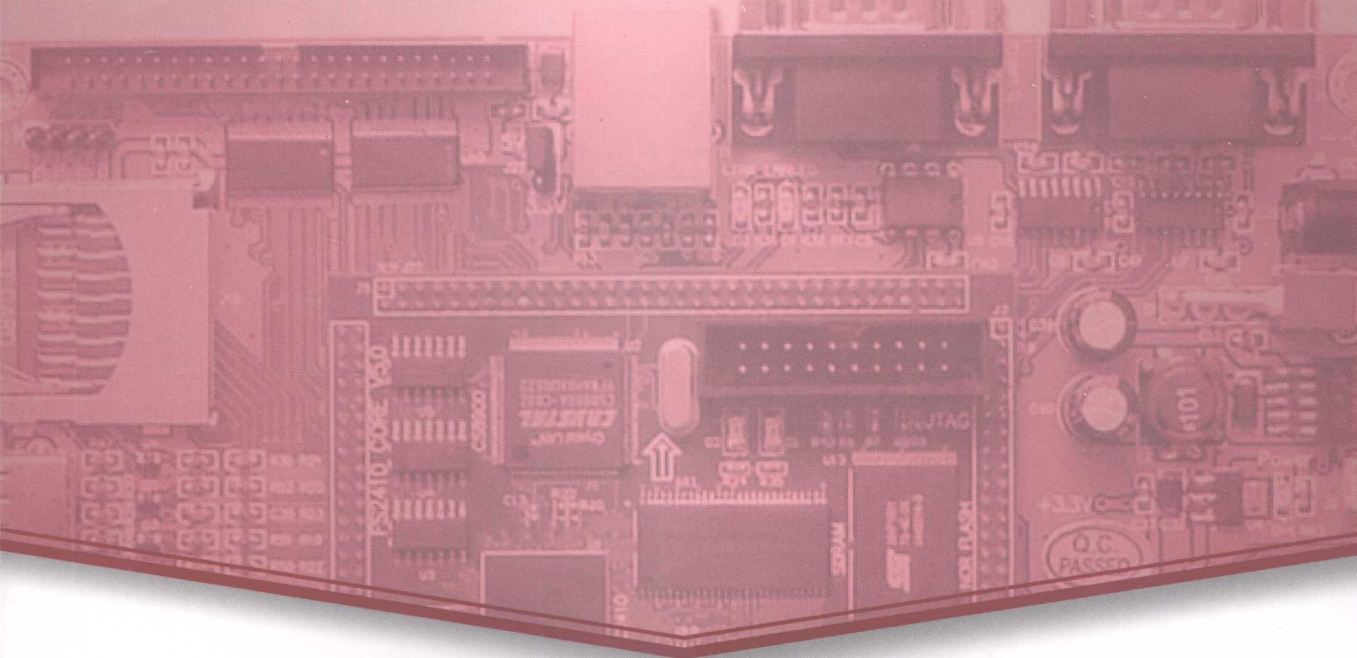




嵌入式系统系列教材

嵌入式系统导论

彭蔓蔓 李浪 徐署华 等 编著

李仁发 主审

图书在版编目 (CIP) 数据

嵌入式系统导论 / 彭蔓蔓等编著. —北京: 人民邮电出版社, 2008.10

嵌入式系统系列教材

ISBN 978-7-115-18820-5

I. 嵌… II. 彭… III. 微型计算机—系统设计 IV. TP360.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 140173 号

内 容 提 要

本书系统而循序渐进地介绍了嵌入式系统的基本原理、概念和应用设计开发。全书共分为 7 章: 第 1 章初步介绍了嵌入式系统的基本知识; 第 2 章剖析了嵌入式系统的设计方法和设计流程; 第 3 章介绍了各种嵌入式处理器以及在开发过程中如何选用; 第 4 章主要介绍嵌入式系统中存储器的组成、工作原理和性能特征; 第 5 章介绍了嵌入式系统的外围设备与 I/O 接口; 第 6 章重点对比介绍了几种常用的嵌入式操作系统; 第 7 章从软件工程师的角度出发, 以 7 个由浅入深的实例, 着重介绍基于 Windows CE 的嵌入式系统开发流程及嵌入式应用程序开发。

本书内容系统丰富, 重点突出, 所选实例具有较强的代表性, 针对性强, 是前面学习嵌入式系统原理与开发的入门教材, 适合作为大学本科和高职院校计算机、电子、机械类专业有关课程教材, 也可供相关工程技术人员阅读参考。

嵌入式系统系列教材

嵌入式系统导论

◆ 编 著 彭蔓蔓 李 浪 徐署华 等

主 审 李仁发

责任编辑 王建军

执行编辑 李 静

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京隆昌伟业印刷有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 15

字数: 370 千字

印数: 1—3 000 册

2008 年 10 月第 1 版

2008 年 10 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-18820-5/TP

定价: 29.00 元

读者服务热线: (010)67119329 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

前 言

随着全球数字化、信息化进程的不断加快,嵌入式系统被广泛地应用于军事、家庭、工业、商业、办公、医疗等社会各个方面,嵌入式技术已成为 IT 领域的基础技术之一。工业自动化控制领域、手持设备领域、数据通信领域、信息家电领域,都将会以嵌入式技术为基础来促进本领域的设备和产品的创新和升级,市场对嵌入式系统相关产品的巨大需求已成为国民经济发展中的亮点。

当前,我国信息产业飞速发展并取得了较大成就,但是无论在产品技术水平还是市场占有率都与发达国家还有不少差距,这就要求我国大力发展嵌入式系统产业,培养大批嵌入式系统开发人才来满足日益增长的嵌入式系统市场需求。

在传统产品中嵌入微处理器芯片,可以大大提高产品的数字化、网络化与智能化水平,不仅有助于提高传统产品的技术含量,而且可以提高产品的市场竞争力。我国作为新兴的 IT 产业制造大国,如何培养大量符合市场要求的嵌入式系统开发人才已成为当务之急。

2004 年,IEEE 计算机协会和 ACM 对计算机专业的典型课程进行了设置,其中嵌入式系统被确定为一门核心课程。嵌入式系统课程体系中还包含有设计、开发软硬件的实训内容,是一个理论与实践紧密结合的课程体系。为此,在我国理工科类高等学校及高等职业技术学院开设“嵌入式系统导论”课程是必然的选择。

本书是嵌入式系统学习的入门课程,也是基础课程,它主要面向初学者,从最基本的原理、概念到嵌入式系统的组成结构、设计方法,最后以 7 个实训为例由浅入深指导初学者如何进行嵌入式系统开发,概念清楚、通俗易懂。

本书每章后面有相应的习题,在章节的编排上结合多年实践教学的经验,目的就是便于初学者快速掌握嵌入式系统的基本开发流程及开发设计技术。

本书第 1 章和第 7 章由李浪编写,第 2 章由凌纯清编写,第 3 章由任小西编写,第 4 章由彭蔓蔓编写,第 5 章由彭胜标编写,第 6 章由付彬编写;全书由彭蔓蔓和徐署华整理和统稿,最后由李仁发教授主审。

本书的所有作者都是多年从事嵌入式计算教学的老师,本书是这些老师们多年教学工作经验的积累和总结。尽管我们再三校对,但书中肯定还存在错误和不足,恳请读者批评指正。您的意见和建议是我们的期待。我们的联系方式: pmmbyjsj@hnu.cn、lilang911@126.com。

最后,再次感谢所有帮助和关心我们的朋友,谢谢你们使用本书,并祝你们学习成功。

编 者

2008 年 7 月

目 录

第 1 章 嵌入式系统概述	1
1.1 嵌入式系统的定义与特点	1
1.1.1 嵌入式系统的定义	1
1.1.2 嵌入式系统的特点	2
1.2 嵌入式系统的应用	3
1.2.1 应用领域	3
1.2.2 发展趋势	4
1.3 嵌入式系统的构成	5
1.3.1 嵌入式系统的硬件	5
1.3.2 嵌入式系统的软件	9
1.4 嵌入式系统分类	11
1.5 嵌入式系统的发展历史	12
1.5.1 初始阶段	12
1.5.2 发展阶段	13
1.5.3 未来发展趋势	14
1.6 小结	15
第 2 章 嵌入式系统的设计方法	17
2.1 嵌入式系统的一般开发流程	17
2.1.1 单片机系统	17
2.1.2 嵌入式处理器系统	18
2.2 传统的嵌入式系统开发方法	20
2.3 嵌入式系统的软硬件协同设计	21
2.4 嵌入式系统的测试技术	23
2.4.1 嵌入式软件的测试方法	23
2.4.2 嵌入式软件的测试工具	24
2.4.3 嵌入式系统的测试策略	25
2.5 小结	26
第 3 章 嵌入式处理器	27
3.1 引言	27

3.2 嵌入式系统对微处理器的要求	28
3.2.1 嵌入式系统	28
3.2.2 嵌入式微处理器	29
3.2.3 嵌入式微处理器的分类	31
3.2.4 嵌入式处理器技术指标	32
3.2.5 嵌入式处理器选择原则	34
3.3 典型的嵌入式处理器	36
3.3.1 ARM 处理器	36
3.3.2 PowerPC 处理器	44
3.3.3 FPGA 简介	47
3.3.4 SoC 简介	50
3.4 多核处理器	53
3.4.1 多核处理器简介	53
3.4.2 多处理器结构需要考虑的几个方面	54
3.4.3 多核编程应用	56
3.5 小结	59
第4章 嵌入式系统的存储器	61
4.1 概述	61
4.1.1 存储系统层次结构	61
4.1.2 存储器的主要性能指标	63
4.1.3 存储器分类	65
4.1.4 嵌入式系统的存储子系统	67
4.2 嵌入式系统的主存	68
4.2.1 主存的基本结构	68
4.2.2 随机存取存储器 (RAM)	70
4.2.3 只读存储器 (ROM)	76
4.2.4 内存条	82
4.3 嵌入式系统的 Cache	83
4.3.1 传统 Cache 结构	83
4.3.2 嵌入式系统的 Cache 结构特点	88
4.3.3 嵌入式系统的 Cache 能耗	88
4.4 嵌入式系统的存储器选择	92
4.4.1 选择原则	92
4.4.2 示例	95
4.5 小结	97

第 5 章 嵌入式系统的外围设备和 I/O 接口	100
5.1 外围设备	100
5.1.1 输入设备	100
5.1.2 输出设备	102
5.1.3 扩充设备	106
5.1.4 便携式嵌入式系统的电源	107
5.2 常见输入输出接口类型	108
5.2.1 总线接口	108
5.2.2 并行接口	110
5.2.3 串行接口	111
5.2.4 无线接入技术	114
5.3 I/O 接口原理基础	116
5.3.1 嵌入式最小系统的扩展	116
5.3.2 总线原理	122
5.3.3 I/O 接口结构、功能及寻址	125
5.3.4 数据交换方式	128
5.4 小结	133
第 6 章 嵌入式操作系统	135
6.1 概述	135
6.1.1 嵌入式操作系统介绍	135
6.1.2 嵌入式操作系统发展历程	136
6.1.3 嵌入式操作系统特征	136
6.1.4 嵌入式操作系统的应用前景	137
6.2 实时操作系统	138
6.2.1 实时操作系统简介	138
6.2.2 实时操作系统的基本特征	139
6.2.3 实时操作系统评价指标	140
6.2.4 实时操作系统的常用术语	140
6.3 嵌入式实时操作系统	141
6.3.1 嵌入式实时操作系统简介	141
6.3.2 嵌入式实时操作系统的特点和构成	142
6.3.3 使用嵌入式实时操作系统的必要性	143
6.3.4 嵌入式实时操作系统的现状和发展方向	144
6.4 常用的嵌入式操作系统	145

6.4.1 VxWorks	145
6.4.2 QNX	147
6.4.3 Nucleus PLUS	149
6.4.4 uC/OS	151
6.4.5 Palm OS	152
6.4.6 Windows CE	153
6.4.7 嵌入式 Linux	154
6.5 嵌入式 Linux 实例	155
6.5.1 uCLinux	155
6.5.2 uCLinux 内核结构	156
6.5.3 uCLinux 小型化的方法	156
6.5.4 uCLinux 的内存管理	157
6.5.5 uCLinux 的多进程处理	158
6.5.6 uCLinux 的内存保护	159
6.5.7 uCLinux 的编程接口的改变	159
6.5.8 uCLinux 针对实时性的解决方案	160
6.5.9 uCLinux 的开发环境	160
6.6 Windows CE 实例	162
6.6.1 Windows CE 概述	162
6.6.2 Windows CE 的设计目标	163
6.6.3 Windows Embedded CE6.0 新特点	164
6.6.4 基于 Windows CE 的新产品的开发流程	166
6.6.5 Windows Embedded CE 6.0 的体系结构	167
6.6.6 Windows Embedded CE 6.0 的进程	169
6.6.7 Windows Embedded CE 6.0 的线程	170
6.6.8 Windows Embedded CE 6.0 的调度	171
6.6.9 Windows Embedded CE 6.0 的同步	172
6.6.10 Windows Embedded CE 6.0 的进程间通信	173
6.6.11 Windows Embedded CE 6.0 的内存管理	173
6.7 如何选择嵌入式操作系统	174
6.8 小结	175

第 7 章 基于 Windows CE 的嵌入式应用程序开发实例	177
7.1 概述	177
7.2 基于 Windows CE 嵌入式应用程序开发环境	177
7.3 基于 Windows CE 的嵌入式应用程序开发流程	178

7.4 嵌入式系统应用程序开发实训	179
7.4.1 实训 1 定制操作系统内核	179
7.4.2 实训 2 用 EVC 开发应用程序	186
7.4.3 实训 3 Windows CE.NET 动态链接库	192
7.4.4 实训 4 Windows CE.NET 虚拟内存管理	195
7.4.5 实训 5 Windows CE.NET 设备驱动程序开发	202
7.4.6 实训 6 Windows CE.NET 文件系统开发	211
7.4.7 实训 7 个人通信录	220
7.5 小结	228
参考文献	229

第 1 章 嵌入式系统概述

1.1 嵌入式系统的定义与特点

以往我们根据计算机的体系结构、运算速度、结构规模、适用领域，将其分为大型计算机、中型计算机、小型计算机和微型计算机。随着计算机技术和产品对其他行业的广泛渗透，以应用为中心的分类方法变得更为切合实际，也就是按计算机的非嵌入式应用和嵌入式应用将其分为通用计算机和嵌入式计算机。

通用计算机一般具有标准的硬件配置，通过安装不同的应用软件，以适应各种不同的应用需求；而嵌入式计算机一般是以嵌入式系统的形式隐藏在各种装置、产品和系统中，是为某种特定应用或需求而设计的。

随着全球数字化、信息化的进程不断加快，嵌入式系统被广泛应用于军事、家用、工业、商业、办公、医疗等各个方面。全球经济的持续增长以及信息化的加速发展必将使嵌入式系统的市场进一步增长，在我国，信息化社会建设更是对嵌入式系统市场的发展起到了巨大的推动作用。

嵌入式技术已成为 IT 领域的基础技术之一，如图 1.1 所示。工业自动化控制领域、手持设备领域、数据通信领域、信息家电领域，都必将以嵌入式技术为基础，促使本领域的设备和产品的不断创新和升级。



图 1.1 生活中随处可见的嵌入式系统

1.1.1 嵌入式系统的定义

根据 IEEE 的定义，嵌入式系统（Embedded System）是“控制、监视或者辅助设备、机

器和车间运行的装置”。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。不过，上述定义并不能充分体现出嵌入式系统的精髓。

当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。它一般由嵌入式微处理器、外围硬件设备、嵌入式操作系统以及用户的应用程序等 4 个部分组成，用于实现对其他设备的控制、监视或管理等功能。

1.1.2 嵌入式系统的特点

与通用计算机相比，嵌入式系统主要有以下几个特点。

● 嵌入式系统极其关注成本。嵌入式系统必须能根据特定应用的需求，对软硬件进行裁剪以满足应用系统对功能、可靠性、成本、体积等的要求。在大多数情况下，需要注意的成本是系统成本。处理器成本固然是一个因素，但是如果采用高度集成的微控制器（Microcontroller Unit, MCU），而不是微处理器（Micro Processing Unit, MPU）和独立外设器件的组合，就能减小印制电路板的面积，减少所使用器件的个数，降低对电源输出功率的要求，这些都可降低器件总成本、生产管理和装配成本、产品调试成本，同时也可提高产品的可靠性，降低产品的维护成本。

● 嵌入式系统对实时性有较强要求。嵌入式系统一般对程序执行时间的要求都较高，故称之为实时系统。实时性一般分为两类：软实时系统和硬实时系统。硬实时系统要求相关任务（时间关键性的任务）必须在某个时间间隔内完成，一旦响应时间不能满足，就可能会引起系统崩溃或致命的错误；而软实时系统的任务为时间敏感性任务，响应时间不能满足一般不会引起非常严重的后果。

● 嵌入式系统一般采用嵌入式操作系统（Embedded Operation System, EOS）或实时操作系统（Real Time Operation System, RTOS）。为使程序能满足系统功能的要求，在必须保证程序逻辑正确性的同时，响应时间也必须达到系统的要求。对于功能较为复杂的嵌入式系统而言，控制响应时间是程序设计的关键，而这对程序员来说往往很难驾驭或实现起来相当困难，因此这类系统一般采用 EOS 来管理系统的硬件资源和时间资源。对于实时系统，应采用具有实时特性的嵌入式操作系统——RTOS。另外，使用操作系统也可减小产品的开发周期。对于功能较简单的小型电子装置，可以不采用操作系统，由应用软件来直接管理系统的硬件资源和时间资源。

● 嵌入式系统软件故障造成的后果较通用计算机更为严重。因为嵌入式系统必须尽量减少软件的瞬时故障（软故障），所以嵌入式系统一般都采用某些保障机制，例如看门狗定时器（Watch Dog Timer, WDT）来提高系统的可靠性。

● 嵌入式系统多为低功耗系统。大多数嵌入式系统没有充足的电能供应（如采用电池供电），并且功耗越小散热越容易，系统温升越低，系统的稳定性和可靠性越高。

● 嵌入式系统经常在极端恶劣的环境下运行。极端恶劣的环境一般意味着严酷的温度与很高的湿度，特殊场合下使用的嵌入式系统必须还要考虑防振、防尘、防水、防电磁干扰等问题。集成电路芯片分为商业级、工业级和军品级，嵌入式系统一般应选择工业级或军品级。

● 嵌入式系统的系统资源与通用计算机相比是非常少的。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。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,一般情况下,如果要针对硬件进行操作系统的移植,即使在同一品牌、同一系列的产品中也需要根据系统硬件的变化和增减不断进行修改。针对不同的任务,往往需要对系统进行较大的更改,程序的编译下载要和系统相结合,这种修改和通用软件的“升级”是完全不同的概念。

● 嵌入式系统通常在 ROM 中存放所有程序的目标代码。几乎所有的计算机系统都要在 ROM 中存放部分代码(如 PC 机中的 BIOS 是存放在 Flash 内的),而多数嵌入式系统必须把所有的代码都存放在 ROM 中,这意味着对存放在 ROM 中的代码长度有极严格的限制。除此之外,由于 ROM 的读取速度比 RAM 低,在程序执行前一般需将其从 ROM 移至 RAM。在设计系统硬件和软件时应考虑此问题。

● 嵌入式系统可采用多种类型的处理器和处理器体系结构。系统所采用的处理器确定了系统的体系结构(包括系统硬件的组成和指令系统),可选的处理器有微处理器、微控制器、数字信号处理器(Digital Signal Processor, DSP)等,还可选择片上系统(System On Chip, SoC)。

● 嵌入式系统需要专用开发工具和方法进行设计。嵌入式系统的开发工具通常由软件和硬件组成。软件包括交叉编译器、模拟器、调试器、集成开发环境(Integrated Development Environment, IDE)等;硬件包括 ROM 仿真器、在线仿真器(In-Circuit Emulator, ICE)、在线调试器(In-Circuit Debugger, ICD)、片上调试器(On-Chip Debugger, OCD)等。

● 嵌入式系统具有软件的固件化特点。嵌入式系统是一个软硬件高度结合的产物,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处理器芯片中,用户通常不能任意修改其中的程序功能。

除此以外,嵌入式系统还具有隐式应用形态、高可靠性等特点,这里不再一一赘述。

1.2 嵌入式系统的应用

嵌入式系统主要用于各种信号的处理与控制,已在国防、国民经济及社会生活等领域普遍采用,成为数字化电子信息产品的核心。

1.2.1 应用领域

嵌入式系统所涉及的应用领域极其广泛,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众多嵌入式微处理器,键盘、鼠标、软驱、硬盘、显示器、显卡、网卡、声卡、打印机、扫描仪、数码相机、集线器等均是由嵌入式处理器控制的。制造业、过程控制、通信、仪器、仪表、汽车、船舶、航空、航天、军事装备、消费电子类产品等方面均是嵌入式计算机的应用领域。

典型的嵌入式系统的应用领域主要有工业控制、交通管理、信息家电等几个方面。

1. 工业控制

基于嵌入式芯片的工业自动化设备将获得长足的发展,目前已经有大量的 8 位、16 位、32 位嵌入式微控制器在应用中。网络化是提高生产效率和产品质量、减少人力资源的主要途径,如工业过程控制、数字机床、电力系统、电网安全、电网设备监测监控、石油化工系统监控等。就传统的工业控制产品而言,低端型采用的往往是 8 位单片机。但是随着技术的发

展, 32 位、64 位的处理器逐渐成为工业控制设备的核心, 在未来几年内必将获得长足的发展。

2. 交通管理

在车辆导航、流量控制、信息监测与汽车服务方面, 嵌入式系统技术已经获得广泛应用, 内嵌 GPS 模块、GSM 模块的移动定位终端已经在各种运输行业成功应用。例如目前 GPS 设备已经从过去的高端产品进入了普通百姓的家庭, 很多私人汽车上都配备了 GPS 导航和定位设备。

3. 信息家电

这是嵌入式系统最大的应用领域。冰箱、空调等的网络化、智能化将引领人们的生活步入一个崭新的空间。即使你不在家里, 也可以通过电话(包括固定电话和移动电话)及网络进行远程控制。在这些设备中, 嵌入式系统将大有用武之地。

4. 家庭智能管理系统

水、电、煤气表的远程自动抄表, 安全防火、防盗系统, 其中嵌有专用控制芯片的系统将代替传统的人工检查, 并实现更高、更准确和更安全的性能。目前在服务领域, 如远程点菜器等已经体现了嵌入式系统的优势。

5. POS 网络及电子商务

公共交通无接触智能卡(Contactless Smartcard, CSC)发行系统、公共电话卡发行系统、自动售货机及各种智能 ATM 终端将全面走入人们的生活, 到时人们手持一卡就可以行遍天下。

6. 环境工程与自然

包括水文资料实时监测系统, 防洪体系及水土质量监测系统、堤坝安全监测系统, 地震监测网、实时气象信息网、水源和空气污染监测系统的开发使用。在很多环境恶劣, 地况复杂的地区, 嵌入式系统的应用将实现无人监测。

7. 机器人

嵌入式芯片的发展将使机器人在微型化、高智能方面优势更加明显, 同时会大幅度降低机器人的价格, 使其在工业领域和服务领域获得更广泛的应用。

在这些应用中, 可以着重发展在控制方面的应用。就远程家电控制而言, 除了开发出支持 TCP/IP 的嵌入式系统之外, 家电产品控制协议也需要制订和统一, 这需要家电生产厂家来做。同样的道理, 所有基于网络的远程控制器件都需要与嵌入式系统之间实现接口, 然后才能由嵌入式系统来通过网络实现控制。所以, 开发和探讨嵌入式系统有着十分重要的意义。

1.2.2 发展趋势

信息时代、数字时代的到来为嵌入式产品应用带来了巨大的发展契机, 为嵌入式市场展现了美好的前景, 从中我们可以看出嵌入式系统应用未来的发展趋势。

1. 为设备网络通信提供标准接口

为适应嵌入式分布处理结构和应用上网需求, 面向 21 世纪的嵌入式系统要求配备标准的一种或多种网络通信接口。针对外部联网要求, 嵌入设备必须配 Ethernet 网口, 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、影视设备等)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 IEEE 1394、USB、CAN、或 Bluetooth 通信接口, 同时也需要提供相应的组网协议软件和物理层驱动软件。

2. 支持小型电子设备实现小尺寸、微功耗和低成本

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式和不断改进算法，采用 EC++ 编程模式，优化编译器性能。因此，既要求软件人员有丰富经验，更需要发展先进嵌入式软件技术如 Web 和 WAP 等。

3. 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，重要原因之一是它们对使用者的亲和力以及优美的人机交互界面。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、图像已获得初步成效，一些先进的 PDA 在显示屏幕上已实现汉字输入、短信息语音发布。

4. 嵌入式网络

随着信息时代的到来, Internet 技术已进入人们日常生活中的各个领域, 嵌入式网络应运而生。从而在更好地利用 Internet 庞大的信息资源的同时, 也实现了嵌入式系统功能方面的一个飞跃。目前, 嵌入式系统和网络已是一种不可分割的结合体。家电上网和实现远程操作, 其意义不仅在于这种网络的出现所产生的经济价值, 更在于把家电从个体形式转为联网形式存在, 实现了嵌入式系统网络化。

1.3 嵌入式系统的构成

嵌入式系统的基本结构一般可分为硬件和软件两部分，如图 1.2 所示。

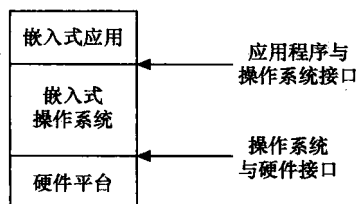


图 1.2 嵌入式系统的结构

1.3.1 嵌入式系统的硬件

嵌入式系统的微硬件包括嵌入式核心芯片、存储器系统及外部接口。其中嵌入式核心芯片指 EMPU (嵌入式微处理器)、EMCU (嵌入式微控制器)、EDSP (嵌入式数字信号处理器)、ESoC (嵌入式片上系统)、EPSoC (嵌入式可编程片上系统)。嵌入式系统的存储器系统包括程序存储器 (ROM、EPROM、Flash)、数据存储器、随机存储器、参数存储器等。

1.3.1.1 嵌入式核心芯片

嵌入式核心芯片是构成系统的核心部件,系统工程中的其他部件均在它的控制和调度下工作。核心芯片通过专用的接口获取监控对象的数据、状态等各种信息,并对这些信息进行计算、加工、分析和判断并做出相应的控制决策,再通过专用接口将控制信息传送给控制对象。

1. 嵌入式微处理器

嵌入式微处理器是由通用计算机中的 CPU 演变而来的。它的特征是具有 32 位以上的处理器，具有较高的性能，当然其价格也相应较高。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，去除其他冗余功能的部分，这样可以最低的功耗和资源实现嵌入式应用的特殊要求。嵌入式微处理器是嵌入式系统的核心。

2. 嵌入式微控制器

EMCU 又称单片微型计算机 (Single Chip Microcomputer), 是指随着大规模集成电路技术的发展, 将计算机的 CPU、RAM、ROM、定时/计数器和多种 I/O 接口集成在一片芯片上形成的芯片级计算机, 针对不同的应用场合可做不同组合控制。

EMCU 按其存储器类型可分为 MASK (掩膜) ROM、OTP (一次性可编程) ROM、FLASHROM 等类型。MASKROM 的 EMCU 价格便宜, 但程序在出厂时已经固化, 适合程序固定不变的应用场合; FALSHROM 的 EMCU 程序可以反复擦写, 灵活性很强, 但价格较高, 适合对价格不敏感的应用场合或做开发用途; OTPROM 的 EMCU 价格介于前两者之间, 同时又拥有一次性可编程能力, 适合既要求一定灵活性, 又要求低成本的应用场合, 尤其是功能不断翻新、需要迅速量产的电子产品。

由于 EMCU 具有低廉的价格、优良的性能, 所以拥有的品种和数量最多, 比较有代表性的包括 8051、MCS-251、MCS-96/196/296、P51XA、C166/167、68K 系列以及 MCU 8XC930/931、C540、C541, 并且有支持 I2C、CAN-Bus、LCD 的及众多专用的 EMCU 和兼容系列。目前 EMCU 占嵌入式系统约 70% 的市场份额。近来 Atmel 出产的 Avr 单片机由于它集成了 FPGA 等器件, 所以具有很高的性价比, 势必将推动单片机获得更高的发展。

3. 嵌入式数字信号处理器

EDSP 是一种独特的微处理器, 是以数字信号形式来处理大量信息的器件。其工作原理是接收模拟信号, 转换为 0 或 1 的数字信号, 再对数字信号进行修改、删除、强化, 并在其他系统芯片中把数字数据解译回模拟数据或实际环境格式。它不仅具有可编程性, 而且其实时运行速度可达每秒数以千万条复杂指令程序, 远远超过通用微处理器, 是数字化电子世界中日益重要的微处理器。它的强大数据处理能力和高运行速度, 是最值得称道的两大特色。

当然, 与通用微处理器相比 EDSP 芯片的其他通用功能相对较弱些。目前最为广泛应用的是 TI 的 TMS320C2000/C5000 系列, 另外如 Intel 的 MCS-296 和 Siemens 的 TriCore 也有各自的应用范围。图 1.3 所示为一种 EDSP 的结构。

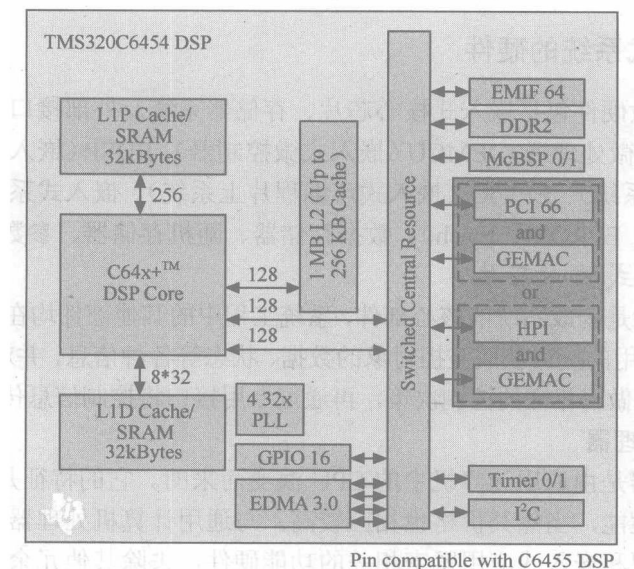


图 1.3 一个 EDSP 结构实例

4. 嵌入式片上系统

ESoC 的定义多种多样, 由于其内涵丰富、应用范围广, 很难给出准确定义。一般说来, ESoC 称为系统级芯片, 有的也称为片上系统, 意指它是一个产品, 是一个有专用目标的集成电路, 它包含完整系统及嵌入软件的全部内容。同时, 它又是一种技术, 用以实现从确定系统功能开始, 到软/硬件划分, 并完成设计的整个过程。从狭义角度讲, 它是信息系统核心的芯片集成, 是将系统关键部件集成在一块芯片上; 从广义角度讲, ESoC 是一个微小型系统, 如果说 CPU 是大脑, 那么 ESoC 就是包括大脑、心脏、眼睛和手的系统。国内外学术界一般倾向于将 ESoC 定义为将微处理器、模拟 IP 核、数字 IP 核和存储器(或片外存储控制接口)集成在单一芯片上的片上系统。它通常是客户定制的, 或是面向特定用途的标准产品。ESoC 的体系结构如图 1.4 所示。

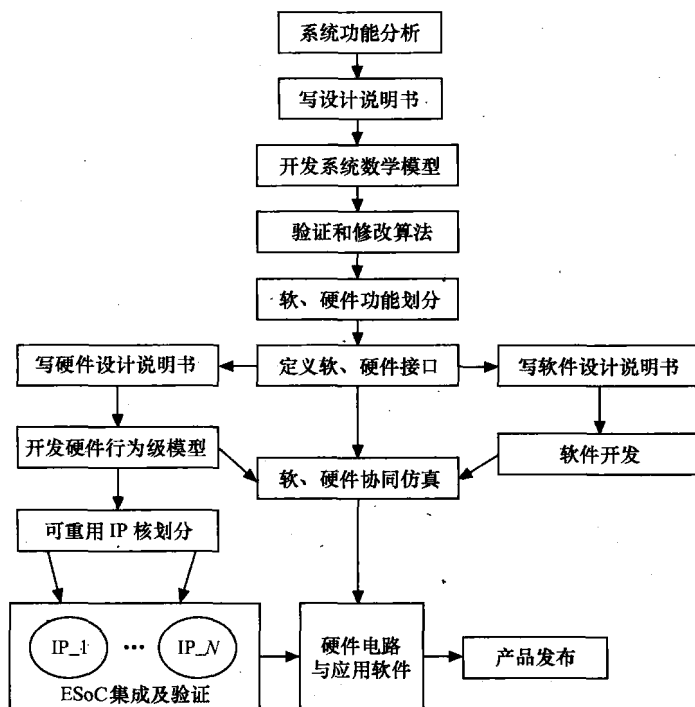


图 1.4 ESoC 的体系结构

1.3.1.2 嵌入式存储器

嵌入式存储器不同于片外存储器, 它是集成在片内, 与系统中各个逻辑、混合信号等共同组成单一芯片的基本组成部分。嵌入式存储器包括嵌入式静态存储器、动态存储器和各种非易失性存储器。

嵌入式存储器分为两类: 一类是易失性存储器, 另一类是非易失性存储器。易失性存储器包括速度快、功耗低、简单的 SRAM 和高密度的 DRAM; 而非易失性存储器在实际应用中有更多种类, 常用的包括 OTP、ROM 和 EEPROM 及越来越普及的 EFlash 技术。非易失性存储器主要用于存储器掉电时不丢失固定数据和程序。嵌入式存储器的主要分类如图 1.5 所示。

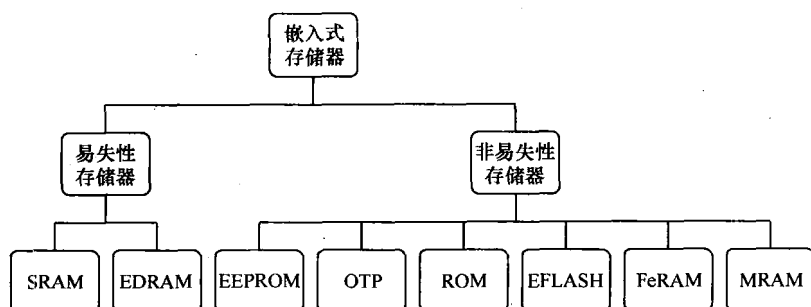


图 1.5 嵌入式存储器的分类

1. 嵌入式易失性存储器

嵌入式易失性存储器（ESRAM）是最早、最成熟的嵌入式存储，广泛应用在通用 CPU 的片内高速缓存、网络处理器中的帧缓冲器等领域。ESRAM 基于标准的 CMOS 逻辑工艺，在制作时不需要增加额外的工艺步骤。传统的 ESRAM 都是六管结构，单元尺寸较大，难以实现大规模的集成，因此，人们相继研制出了单管（1T）和四管（4T）ESRAM 结构。

Mosys 公司提出的 1T SRAM 单元包括一个电容和一个访问管，与平面 DRAM 单元非常相似，只是用一个 MOS 结构代替了 DRAM 的电容。这种单元的面积只有传统 SRAM 单元的 1/3 到 1/4，并且容易按比例缩小。但是这种 MOS 电容能够存储的电荷比较少，需要专门的线性偏置电路来进行补偿，软误差率（SER）也较高。

无负载四管 CMOS SRAM 单元尺寸只有传统六管单元的 56%，能够提高存储容量和工作速度。但是这种存储单元要求能够产生精确的时序信号，保证在不同的温度条件下静态数据的保持特性，并且要克服单元电流小、位线耦合电容大等不利影响。

某些 SoC 应用需要高密度和高带宽的嵌入式存储器，嵌入式 DRAM（EDRAM）的特性恰好能够满足这一要求。EDRAM 的宏单元面积仅仅是 ESRAM 宏单元面积的 1/3 到 1/4，相比之下，更容易实现大规模的集成。EDRAM 中的敏感放大器可以作为临时数据锁存器，存储器宏单元和周围逻辑电路之间可以设置非常宽的数据总线，从而实现极高的存储带宽。EDRAM 的并行大块数据传输能力非常适合数据流为主的应用，例如图形或网络芯片。

2. 嵌入式非易失性存储器

很多应用都需要在掉电后仍然能够保持数据的存储器，例如智能卡。非易失性存储器保持数据的特性是 ESRAM 和 EDRAM 所无法比拟的。

嵌入式系统设计师们都喜欢使用基于 Flash 的处理器。因为在产品开发和生产的早期阶段，片上 Flash 的灵活性大大提高了软件开发的效率，并且允许在最后一分钟修改软件。在整个产品周期中，嵌入式 Flash 对于系统维护、软件在线更新都是非常方便的，设计师不需要更换新的器件。嵌入式 Flash 和微控制器组合在一起，广泛应用于手机、笔记本电脑、掌上电脑、数码相机等领域。可以说，几乎在每个人的生活中都能够找到嵌入式 Flash 的影子。

铁电存储器（FeRAM）是一种采用铁电效应作为电荷存储机制的、基于 RAM 的器件。铁电效应是材料在没有外加电场的情况下存储电极化状态的能力。FeRAM 的存储单元是通过在两个电极板之间积淀一层铁电晶体薄膜以形成一个电容而制作的。这个电容与 DRAM 的电容非常相似，但是与 DRAM 将数据用电荷的形式存储在电容中不同，FeRAM 将数据存储在一个晶体结构中。铁电材料的晶体结构中保持着两个稳定的、由内部偶极子的排列产生的极化状态，分别表示“1”和“0”。

磁阻存储器 (MRAM) 的出现为嵌入式存储器指出了一条统一大道, 因为这种存储器集 SRAM 的高速度、DRAM 的高密度、Flash 的非易失性、擦写耐久性为一体, 同时能够工作在极低的电压下, 具有很小的功耗, 是一种“多功能”的固态存储器, 应用前景十分诱人。MRAM 在制作时只需要增加 3~4 层掩模板, 就可以把嵌入式 MRAM 做到 CMOS 逻辑中去。相比之下, EFlash 和 EDRAM 都需要增加更多的额外工艺步骤。

相变非易失性存储器 (PcRAM) 技术利用某些薄膜合金的结构相变存储信息。这些合金具有两种稳定的状态: (1) 多晶状态, 具有高反射和低电阻的性质; (2) 无定形状态, 是无光泽和高电阻的。采用能够转换两个状态的电脉冲就可以控制两个状态快速地翻转和变相。常用的相变合金是 VI 族 (硫族) 化合物材料, 例如锗、锑和碲。

PCRAM 成功的关键在于合金薄膜的品质。PCRAM 的擦写耐久时间小于 10^{12} 次, 这会限制其应用, 但是新的材料或工艺会解决这一问题。

存储器的类型将决定整个嵌入式系统的操作和性能, 因此存储器的选择是一个非常重要的决策。无论系统是采用电池供电还是由市电供电, 应用需求将决定存储器的类型 (易失性或非易失性) 以及使用目的 (存储代码、数据或者两者兼有)。另外, 在选择过程中, 存储器的尺寸和成本也是需要考虑的重要因素。对于较小的系统, 微控制器自带的存储器就有可能满足系统要求, 而较大的系统可能要求增加外部存储器。为嵌入式系统选择存储器类型时, 需要考虑一些设计参数, 包括微控制器的选择、电压范围、电池寿命、读写速度、存储器尺寸、存储器的特性、擦除/写入的耐久性以及系统总成本。

1.3.1.3 常规的外设及其接口

常规外设是指一般的计算设备不能缺少的外设, 如作为输入设备所必需的键盘、作为输出设备的各个类型的显示器。当然, 嵌入式的键盘可以是简单的按键输入设备及很简单的输出显示装备。常规的外设通常包括以下三类: (1) 输入设备, 用于数据的输入, 常见的输入设备有键盘、鼠标、触摸屏、扫描仪、绘图仪、数码相机、各种各样的媒体视频捕获卡等; (2) 输出设备, 用于数据的输出, 常见的输出设备有各种显示器、各种打印机、绘图仪、各种声卡、音箱等; (3) 外存储设备, 用于存储程序和数据, 常见的外存设备有硬盘、软盘、光盘设备、磁带机、存储卡等。通过接口可以将外设连接到计算机上, 使外设的信息能够输入到计算机, 计算机的信息能够输入到外设。

1.3.1.4 专用外设用其接口

在嵌入式中, 专用外设是指那些为完成用户要求的功能而必须使用的外设。在实际应用中, 由于用户功能要求的多样性, 实现这些要求的技术途径也非常灵活, 从而使专用外设的种类繁多, 而且, 不同的用户系统所需要的专用的外设也各不相同。在后续章节中, 将具体介绍一些最常见的外设及其连接和使用的例子。

1.3.2 嵌入式系统的软件

嵌入式的系统软件与通用计算机一样, 分为两大部分, 嵌入式操作系统、应用软件和板级支持包 BSP (Board Support Package)。其软件层次结构如图 1.6 所示。

操作系统向上层的应用软件提供应用编程接口 (Application Programming Interface, API), BSP 负责与底层的硬件交互, 向操作系统屏蔽硬件的差异。BSP 的

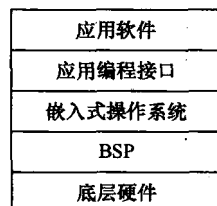


图 1.6 嵌入式系统软件层次结构