



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等学校计算机科学与技术专业系列教材

嵌入式系统原理与设计

王志英 主编

李宗伯 王苏峰 陆洪毅 沈立 王进 侯方勇 编著



高等教育出版社
Higher Education Press



清华大学出版社

清华大学出版社

嵌入式系统原理与设计

作者：XXX

ISBN: 978-7-302-XXXX-XXXX-X



清华大学出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高等学校计算机科学与技术专业系列教材

嵌入式系统原理与设计

王志英 主编

李宗伯 王苏峰 陆洪毅 沈立 王进 侯方勇 编著

高等教育出版社

内 容 提 要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本书针对嵌入式系统领域的最新发展趋势,总结编者多年的教学和科研经验,系统全面地介绍了嵌入式系统的基本概念、原理、设计原则与方法,同时根据当前市场的需求和学习者的实际情况,合理选取典型技术进行具体介绍,并辅之以适当的实例和程序代码,让读者既能系统掌握嵌入式系统基本知识,又能具备较为实用的技能,为将来从事嵌入式方面的工作奠定坚实的基础。本书可作为高等学校计算机及相关专业“嵌入式系统”课程教材,同时也可供嵌入式产品开发的工程技术人员自学与参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式系统原理与设计/王志英主编. —北京:高等教育出版社,2007.11

ISBN 978 - 7 - 04 - 022072 - 8

I. 嵌… II. 王… 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(2007)第 129675 号

策划编辑 倪文慧 责任编辑 孙 薇 封面设计 于文燕 责任绘图 朱 静
版式设计 马静如 责任校对 杨雪莲 责任印制 宋克学

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010 - 58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 高等教育出版社印刷厂

开 本 787 × 1092 1/16
印 张 18.5
字 数 410 000

购书热线 010 - 58581118
免费咨询 800 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2007 年 11 月第 1 版
印 次 2007 年 11 月第 1 次印刷
定 价 25.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 22072 - 00

前 言

随着信息技术的发展,嵌入式系统的应用在不断扩大,通过在产品中嵌入具有处理能力的处理器芯片,可以使产品具有一定的信息处理和控制在能力,从而提高产品的信息化和智能化程度,并有效改善产品的易用性,提升使用者的工作效率,减轻工作负担,甚至还能提供可靠的安全保障,这些优点进一步推动了嵌入式技术的普及和发展。

嵌入式系统涵盖的范围非常广泛,其核心是利用处理器芯片进行信息处理并完成控制,其实现方法灵活多样,表现形式也丰富多彩。同时设计者需要具备计算机软件、硬件以及机电一体化、自动控制等诸多领域的知识和技能。因此,嵌入式系统工程师需要具备综合全面的知识和丰富的经验。这也是为什么现在业界对嵌入式系统工程人才需求紧迫,而真正合格的高水平人才缺乏的基本原因。

那么,嵌入式领域能不能像 PC 机产业一样,形成一个统一、易用、可广泛共享的公共平台呢?笔者不止一次听到诸如“8 位单片机没有前途”或者“嵌入式必将被 PC 机取代”之类的说法,但是到目前为止,还没有任何明显的迹象支持这种观点。确实,随着集成电路技术的发展,嵌入式应用呈现出往高端发展的趋势,也有很多人在努力研究和开发在一定范围内可通用共享的平台,但是,随着越来越多的传统产品嵌入微处理器,嵌入式系统获得了更大的发展空间,多样性特征进一步加强,同时,从根本上来说,因为价格、性能、功耗、体积、应用需求等多种因素的相互制约,特别是激烈竞争的价格因素,必然导致嵌入式系统在方案选择上的多样性,这一特点在相当长的一段时间内还将持续。

嵌入式系统的多样性是市场选择的结果,具有一定的合理性,但是也给嵌入式系统的学习和开发带来了挑战。在教学过程中,经常有同学会问到“嵌入式系统怎么学”这个问题,许多高校的老师也在探讨嵌入式系统课程如何教的问题。对于这些问题的思考和实践,推动我们下决心编写一本适当的教材,既具有系统性和完整性,能向初学者较为全面地介绍主要的嵌入式领域的概念、原理、设计原则与方法,同时又根据当前市场的需求和学习者的实际情况,从多样化的技术中选取典型技术加以介绍,并辅之以适当的实例和程序代码,让读者能掌握较为实用的技能,为将来从事嵌入式方面的工作奠定坚实的基础,并以此加深对概念和原理的理解。因此,本书可作为初学者的入门读物。

本书由 8 章组成,第 1 章主要介绍嵌入式系统的定义、特征、发展现状与趋势,便于读者对嵌入式系统有初步的了解。第 2 章介绍嵌入式系统的设计方法,重点介绍嵌入式系统设计的基本过程、每阶段的主要任务、典型的设计方法及基于 UML 的描述和设计技术。第 3 章主要介绍主流的嵌入式处理器的基本情况和发展趋势,阐述处理器选择的原则,并以 ARM 微处理器为实例

进行具体的介绍。第4章介绍存储系统,在概述存储器的种类、特征、性能指标的基础上,重点阐述了存储器的时序、嵌入式存储系统的组织方式,并就存储器的接口原理和应用技术进行深入的介绍。第5章和第6章重点介绍常用总线与接口的工作原理和编程方法。第7章对嵌入式操作系统基本概念和主流操作系统进行介绍,并就操作系统的选择原则进行阐述,最后重点介绍 μ Clinux操作系统和SkyEye模拟环境。第8章着重介绍嵌入式系统设计中的一些高级技术,包括Bootloader设计、可靠性设计、低功耗设计以及基于功耗和代码长度的分析与优化技术等,并列举了一个具体的实例。书后附有ARM微处理器的指令系统和S3C44B0X简介。

本书的8章内容都可以作为嵌入式系统课程的教学内容,深浅程度可以根据课时情况予以收放。本书由王志英组织编写,李宗伯负责了前期的规划工作。第1章由李宗伯编写,第2、3章和附录A由沈立编写,第4章由王进编写,第5章由王苏峰编写,第6章和附录B由王苏峰和侯方勇编写,第7、8章由陆洪毅编写,全书由李宗伯、王苏峰统稿。本书在编写过程中,得到高等教育出版社和国防科技大学计算机学院的领导和同事的热情支持和帮助,很多兄弟院校的老师就本书的内容和组织提出了富有价值的意见和建议,在此对他们表示衷心的感谢。由于编者水平有限,成书也较仓促,疏漏之处在所难免,还请各位读者批评指正。

编者

2007年5月

目 录

第 1 章 概论	1	3.4.1 Intel 公司 8051 系列微控 制器	33
1.1 引言	1	3.4.2 Microchip 公司系列微控制器 ..	36
1.2 嵌入式系统的定义	1	3.4.3 Motorola 公司微控制器 MC68HC08 系列	37
1.3 嵌入式系统的体系结构	2	3.4.4 TI 公司 TMS320 系列 DSP	40
1.4 嵌入式系统的特征	3	3.4.5 ARM 系列嵌入式微处理器	41
1.5 嵌入式系统的发展现状与趋势	4	3.4.6 PowerPC 系列嵌入式微处 理器	44
1.6 实例:网络照相机	6	3.4.7 MIPS 系列嵌入式微处理器	45
小结	7	3.5 嵌入式处理器的发展趋势	46
习题	7	3.6 选择嵌入式处理器的原则	47
第 2 章 嵌入式系统设计方法	8	3.6.1 基本原则	47
2.1 引言	8	3.6.2 ARM 微处理器的选择	48
2.2 嵌入式系统的设计过程	9	3.7 实例分析——ARM 微处理器的编程 模型	49
2.2.1 需求分析	9	3.7.1 ARM 微处理器的运行模式	49
2.2.2 规格说明	13	3.7.2 ARM 微处理器的工作状态	50
2.2.3 体系结构设计	13	3.7.3 ARM 支持的数据类型	51
2.2.4 软硬件结构设计	15	3.7.4 ARM 微处理器的寄存器 组织	51
2.2.5 系统集成与测试	15	3.7.5 ARM 微处理器的异常处理 机制	56
2.3 设计方法学	16	小结	58
2.3.1 一般设计流程	16	习题	58
2.3.2 嵌入式系统设计方法的演变 ..	18	第 4 章 存储系统	60
2.3.3 传统的嵌入式系统设计方法 ..	19	4.1 概述	60
2.3.4 嵌入式系统的系统级设计 方法	20	4.1.1 半导体存储器	60
2.4 嵌入式系统设计的形式化方法	23	4.1.2 存储器的性能指标	61
小结	26	4.1.3 常用的几种存储器	62
习题	27	4.2 存储设备组织	65
第 3 章 嵌入式处理器	28	4.2.1 存储器的结构	65
3.1 引言	28		
3.2 嵌入式处理器的特点	29		
3.3 嵌入式处理器的分类	29		
3.4 典型的嵌入式处理器	33		

4.2.2 嵌入式系统存储器子系统	66	6.2.2 S3C44BOX 的中断控制器	145
4.3 存储器时序	69	6.3 DMA 控制器	149
4.3.1 数字信号的三种状态	69	6.3.1 概述	149
4.3.2 时序转换	70	6.3.2 S3C44BOX 的 DMA 控制器	151
4.3.3 建立/保持时间	70	6.4 GPIO 端口	152
4.3.4 存储器时序	72	6.4.1 概述	152
4.4 存储器接口	73	6.4.2 S3C44BOX 的 GPIO 端口	153
4.4.1 SRAM 接口	73	6.4.3 GPIO 端口的应用	154
4.4.2 动态 RAM(DRAM) 接口	78	6.5 定时/计数器	157
4.4.3 Flash 存储器接口	85	6.5.1 概述	157
4.4.4 处理器访存接口	92	6.5.2 S3C44BOX 的定时器	158
小结	96	6.5.3 S3C44BOX 的定时器应用	162
习题	96	6.6 UART 接口	163
第 5 章 总线与通信接口	98	6.6.1 概述	163
5.1 引言	98	6.6.2 S3C44BOX 的 UART	165
5.2 PCI 总线	101	6.6.3 S3C44BOX 的 UART 应用	165
5.2.1 概述	101	6.7 JTAG 接口	174
5.2.2 体系结构	102	6.7.1 概述	174
5.2.3 总线信号	103	6.7.2 ARM 的 JTAG 接口	175
5.2.4 总线事务	104	小结	177
5.3 RS232C/RS485	108	习题	177
5.3.1 RS232C 通信接口	108	第 7 章 嵌入式操作系统	179
5.3.2 RS485 总线	114	7.1 引言	179
5.4 USB 总线	117	7.2 嵌入式操作系统的特点	179
5.4.1 概述	117	7.2.1 嵌入式操作系统的主要任务	180
5.4.2 机械电气特性	121	7.2.2 嵌入式操作系统的实时要求	180
5.4.3 传输、事务和包	124	7.2.3 嵌入式操作系统的代码大小要求	182
5.4.4 端点、管道和帧	128	7.3 嵌入式操作系统的发展	182
5.4.5 传输协议	130	7.4 嵌入式操作系统的构成	183
5.5 I ² C 总线	135	7.5 实时操作系统	184
5.5.1 概述	135	7.6 典型的嵌入式操作系统	187
5.5.2 I ² C 总线的构成与操作	135	7.6.1 μ Clinux	187
小结	138	7.6.2 μ C/OS - II	191
习题	139	7.6.3 VxWorks	194
第 6 章 I/O 接口电路	140	7.6.4 Windows CE	194
6.1 引言	140		
6.2 中断控制器	144		
6.2.1 概述	144		

7.7 嵌入式操作系统的选择	195	8.3.1 系统级可靠性	225
7.8 实例	195	8.3.2 PCB级可靠性	225
7.8.1 μ Clinux 内核介绍	196	8.4 嵌入式系统低功耗设计	226
7.8.2 工具链	196	8.4.1 系统级低功耗设计技术	227
7.8.3 操作系统的定制与移植	198	8.4.2 软件低功耗设计技术	227
7.8.4 嵌入式应用程序的调试	199	8.5 嵌入式系统分析与优化	229
7.8.5 SkyEye 介绍	203	8.5.1 程序的功耗分析与优化	229
7.8.6 开发实例	204	8.5.2 程序代码大小的分析与 优化	230
小结	213	8.6 实例	231
习题	214	小结	235
第 8 章 嵌入式系统高级技术	215	习题	235
8.1 引言	215	附录 A ARM 微处理器的指令系统	236
8.2 Bootloader 设计	215	附录 B S3C44B0X 简介	247
8.2.1 Bootloader 的概述	215	参考文献	285
8.2.2 Bootloader 的主要任务和结构 框架分析	216		
8.3 嵌入式系统可靠性设计	224		

第 1 章 概 论

嵌入式系统应用非常广泛,几乎无所不在,正在成为当前发展最为迅猛的一个应用领域,学习和研究嵌入式系统具有非常重要的现实意义。

本章主要介绍嵌入式系统的定义和体系结构,总结归纳了嵌入式系统的主要特征,分析了嵌入式系统的现状,并展望了该领域的发展趋势。

1.1 引言

嵌入式系统发展到今天,经历了三十多年的历史,从最开始的涓涓细流,发展壮大成了目前数量最多、使用范围最广的电子信息系统。在人们的日常生活中,嵌入式设备几乎随处可见,已经成为生活的重要组成部分,在改善人们生活质量、提高生产和工作效率、保证生命财产安全等方面发挥着重要作用。

嵌入式系统涉及的范围很广,如移动电话、个人数字助理(PDA)、通信设备、网络设备、工业控制装置、家用电器等,小到电子时钟、电视遥控器,大到大型飞机、轮船,从民用的汽车到军用的坦克,都包含有嵌入式系统,在其中发挥着信息处理的核心作用。

很多人对于 PC 机印象深刻,提到计算机就会想到大量使用的 PC 机,确实,人类社会的信息化革命就是以 PC 机为代表的,嵌入式系统虽然数量众多,但却往往不为人所知,其中最重要的原因是嵌入式计算机系统一般隐藏在产品中,在使用过程中主要完成无形的信息处理,用户不容易感知到它的存在。此外,嵌入式系统不像通用计算机那样把性能作为最重要的目标,往往不是学术研究的热点,也不容易成为新闻报道的焦点。尽管如此,随着技术的发展,嵌入式系统越来越普及,在数量上已经大大超过通用计算机系统,有人预言未来的年代将以嵌入式系统为主导,进入一个新的时代——后 PC 机时代。

1.2 嵌入式系统的定义

什么是嵌入式系统呢?按照 IEEE 的定义,嵌入式系统是“用于控制、监视或者辅助操作机器或设备的装置”(Devices Used to Control, Monitor or Assist the Operation of Equipment, Machinery or Plants)。这种定义比较宽泛,没有规定用什么方法来实现,可以用微处理器、可编程逻辑器

件、DSP(Digital Signal Processor),也可以是PC机,甚至还可以是机械装置或简单的电子逻辑。

而目前人们所说的嵌入式系统往往是以具有计算能力或逻辑处理能力的特殊计算机系统,实际上可以认为是一个具有一定特性和约束的计算机系统,其核心处理部件一般是微处理器、可编程逻辑器件、DSP,有时也可以是PC机,但是不会是机械控制装置。从这一角度出发,嵌入式系统又可以定义为:“以应用为中心,以计算机技术为基础,软硬件可裁剪,适应特定应用系统,并对功能、可靠性、成本、体积、功耗等指标严格要求的专用计算机系统”。

1.3 嵌入式系统的体系结构

嵌入式系统可以理解成一个特殊的计算机系统,毫不例外地也是由嵌入式硬件和嵌入式软件两部分组成,其中硬件是信息处理的基础和支撑,软件则是灵魂,只有通过软件,才能让嵌入式系统完成有用的工作。根据需求和硬件资源的情况,嵌入式软件具有多种结构,如在低端和深度嵌入式系统中,因为采用的嵌入式处理器往往计算能力非常有限,存储资源受限,只能采用经过手工高度优化的汇编代码,直接管理和操控硬件资源;而在较为复杂的嵌入式系统中,应用逻辑往往非常复杂,或者要求有很高的实时性和可靠性,往往配备较为高端的处理器和硬件资源,为了降低软件开发难度,提高软件的可靠性、正确性,一般需要采用嵌入式操作系统来作为支撑,由成熟的操作系统管理资源,同时利用现成的系统服务、库函数来开发应用程序。随着嵌入式硬件技术的不断发展,性价比不断提高,可以用非常合理的价格提供越来越强大的性能,因此,嵌入式软件开发越来越多地采用操作系统和高级编程语言,现在,即使在8位单片机中也已经开始采用简单的调度器或操作系统,并普遍采用C语言来进行应用开发。在中高端系统中,则大量采用Linux、 μ C/OS、 μ CLinux、eCos以及众多的商用操作系统。

嵌入式硬件的结构与经典的冯·诺依曼结构(Von Neumann Architecture)类似,如图1.1所示,包括运算器、控制器、存储器、输入设备、输出设备5个部分,它们往往嵌入在产品之中,主要完成对外部的输入信号和数据进行分析处理,根据给定的规则,通过一定的执行、显示部件做出适当的反应。

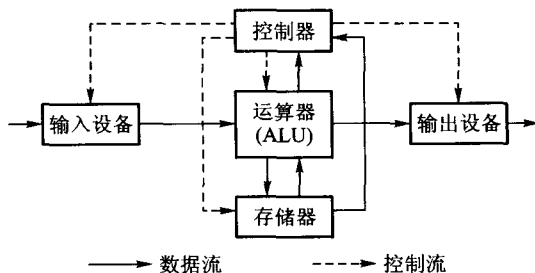


图 1.1 冯·诺依曼计算机总体结构

一般来说,在嵌入式系统中,这5个部分可以集成在一个芯片上,称为微控制器,属于目前经常提到的片上系统(System on a Chip, SoC),如目前使用众多的单片机;如果把这5个部分在一块可编程芯片中实现,则称为可编程片上系统(System on a Programmable Chip, SoPC),如Xilinx、Altera等公司都推出了支持SoPC的FPGA平台;当然,也可以把运算器、控制器或者部分存储器集成在一起,称为微处理器,因为它具有较好的通用性,因此也称为通用微处理器,PC机上所使用的CPU就属于这一范畴。

总的来说,在嵌入式应用领域,为了降低价格,减少功耗,提高可靠性,往往针对特定的应用领域定制出特定的微控制器,低端的如8051系列、Microchip公司的PIC系列,产品线非常丰富,可以根据应用需求选择最合适的芯片,而高端的如Samsung公司的ARM系列、Intel公司的XScale系列等,一般根据较大的粒度来划分产品线,具有较强的通用性。

1.4 嵌入式系统的特征

嵌入式产品涉及的范围很广,品种繁多,个性明显,但是它们普遍具有以下主要特征。

(1) 价格敏感

由于嵌入式产品品种繁多,用途各异,它不可能形成一种像PC机市场那样高度统一的软硬件标准,每种产品也不可能被少数厂商控制而形成较大的规模,各厂商的进入也不存在像PC机市场那样的巨大的技术壁垒。因此,嵌入式产品市场的竞争是非常激烈的。由于技术水平一般不太可能形成较长时间的优势,整体价格往往是市场竞争的焦点。所以,嵌入式系统对价格具有高度的敏感性,谁能用更低的价格提供性能接近的产品,谁就能最终赢得市场。

(2) 资源受限

由于嵌入式系统对价格比较敏感,而系统资源的配置直接影响着产品价格,需要认真考虑系统的资源配置,同时,嵌入式系统一般以特定应用为目标,应用需求比较明确,因此有可能在设计时对系统资源进行最优化的配置,在满足产品功能需要的前提下,最大限度地减少系统资源;此外,嵌入式系统还大量采用定制专门芯片来最小化系统资源,达到降低总体成本、提高系统可靠性和减少功耗的目的。

(3) 低功耗

随着人们生活水平的提高,社会活动范围的扩大,以及人们对生产效率的进一步重视,越来越多的嵌入式产品被设计成便于携带的形式,人们通过这些产品可以随时随地方便地获取和处理信息。为了便于携带,一般需要采用体积较小的电池来供电,只有降低系统功耗,才能具备较长的电池使用时间,除了采用提高电池容量、降低工作电压等技术外,如何最小化系统资源、简化芯片结构也是非常重要的途径,在产品设计时需要专门考虑。

(4) 实时要求高

嵌入式产品,特别是涉及关键任务的产品,如航空电子、军事技术、工业控制等领域的产品,

都需要对重要的事件进行快速的响应和及时的处理,也就是要求具有较高的实时处理能力,在这些产品中,实时处理能力是系统的核心,因为它们可能直接关系到生命财产的安全。

除了在硬件设计时要考虑具备较好的中断响应能力外,通过软件技术来完成各类实时事件的及时处理是必不可少的,包括实时操作系统,实时调度评估工具等,它们在实际系统中得到了广泛的应用。主要的生产厂商如 Wind River 系统公司、Microware 公司、Microtec 公司及 Integrated Solutions 公司等都是这一行业的佼佼者。

(5) 集成度高

由于嵌入式系统对性能、价格、功耗、可靠性、体积等方面的要求不断提高,在快速发展的微电子技术的配合下,系统集成度不断提高,大规模的集成电路不断取代分立元件,集成度也在不断提高,采用定制、半定制、可编程等技术的芯片大量涌现,近几年还出现了单芯片技术。随着集成度的不断提高,嵌入式系统将具有更好的性能、更低的价格、更低的功耗,其他方面的需求也能得到更好的满足。

1.5 嵌入式系统的发展现状与趋势

近年来,随着微电子技术的不断发展,以及“后 PC 机时代”轮廓的逐步显现,嵌入式领域呈现出快速发展的势头。考虑到“后 PC 机时代”的新的特征及微电子技术的发展现状,嵌入式系统将呈现出以下几方面的发展趋势。

(1) 产品种类不断丰富,应用范围不断普及

随着 Internet 作为“第四媒体”地位的确立,Internet 对人类的生活方式已产生极大的影响,数字化生存已经成为社会普遍关心的热门话题,这种新的社会基础设施使人们获得了前所未有的信息交互能力,信息唾手可得的梦想将成为现实,Internet 也不再是专业人士的专利,其应用范围开始扩大到整个社会;为了满足不同背景、不同应用场合对 Internet 的访问需求,PC 机也不再是唯一的工具,将出现可以在不同环境下为不同知识背景的人使用的新型应用设备。这种发展趋势必将使消费类电子和嵌入式设备得到极大的发展,种类不断丰富,使用将非常普及。

(2) 性能不断提高

随着微电子技术的不断发展,集成度将不断提高,生产价格不断下降,嵌入式系统在适当价格下可以获得的性能越来越高,具体表现在以下几个方面:

① 核心处理芯片位数更高。处理器的位数被用来作为评估处理器性能的指标之一,随着处理器性能价格比的不断提高,以及对软件性能与开发效率的重视,嵌入式领域呈现出向高位数处理器迁移的趋势,2000 年有将近 2.5 亿块 32 位和 64 位处理器用于嵌入式应用,其他公司的预测也表明:32 位和 64 位处理器将是嵌入式处理器市场增长最快的部分。很显然,虽然位数较低的处理器的处理器还将大量使用,但将会有越来越多的 32 位和 64 位的处理器嵌入到产品之中。

② 多种媒体处理能力的汇聚。随着数字化程度的迅速发展和网络带宽的不断提高,传统电

器、计算机、通信三大行业出现了“三电合一”的趋势,要求传统的嵌入式产品不但要具有较好的计算能力,还要能较好地处理数字信号与多媒体数据,也就是要求在同一系统中汇聚各种处理能力,以达到多种功能的高度整合,满足未来发展的需要。目前,由于微电子技术的发展,特别是单芯片技术的应用,在一种芯片中聚合多种处理能力已经成为可能,并将得到广泛的应用。

(3) 功耗不断降低,体积不断缩小

由于微电子技术的不断发展和低功耗技术的不断进步,嵌入式系统的功耗将不断降低,由于芯片的集成度不断提高,构成的嵌入式系统体积也将不断缩小。在未来的发展中,这两方面的需求将会得到极大的满足,并将继续追求更小、更省电的目标。

(4) 网络化、智能化程度不断提高

人类对完美的追求往往是无止境的,随着高性能芯片的采用,当嵌入式产品可能提供更多的功能时,人们对产品灵活性、智能化的需求就开始列入开发人员的议事日程。使产品具有更高的智能,方便人们的使用,提高工作效率本来就是业界提倡的“科技以人为本”的精髓。在技术允许的前提下,产品将越来越智能化。

与此同时,网络化也是嵌入式应用的一个主要发展方向,由于应用不断复杂化、智能化,相互密切协作的需求大大增加,在它们之间实现网络连接是必然之路,例如,在集中体现未来应用需求的典型系统——汽车中,就使用了越来越多的微处理器,目前每部汽车中平均使用了16个微控制器或微处理器,而据 Motorola 公司的估计,这个数目还会增长到35个。这些处理器需要密切配合才能使汽车达到更大的安全性和舒适性。在工业自动化方面,为了实现生产效率的提高和精确生产的需要,这种网络化的趋势也会更加明显。

网络化更为重要的动力是 Internet,随着 Internet 技术的不断普及,传统的生产、销售、娱乐、学习、生活方式都将围绕 Internet 这种新的媒体进行重新配置和改造,需要与网络连接的嵌入式系统会无处不在。

(5) 软件成为影响价格的主要因素

在硬件性能不断提高,成本不断下降,应用智能化、复杂化程度不断加强,产品种类极大丰富,相互信息交流不断增加的情况下,软件将取代硬件而越来越成为产品价格的主体。因此,以硬件为核心的成本控制思想会成为过去,未来的转变是以软件成本为核心来指导产品的设计和生产。

这种变革必然会导致软件开发方式与应用模式的巨大变革,例如,需要更加高效可靠、配置容易、多平台能力好的标准化开发工具与应用软件,需要可以容易地进行维护、升级的技术手段,需要适应多样化、网络化需求的新型应用模式,等等。目前,嵌入式领域对 Java 技术的高度重视,就表明了这种变革的迫切性。

毫无疑问,嵌入式领域呈现出的发展趋势昭示了嵌入式系统美好的未来,同时也给它带来了新的巨大挑战,目前采取的专用平台、专用操作系统和专用软件设计的方法,不仅耗时、耗力,而且成本高,显然无法适应这一新的市场需求,如何在这一产品多样化的环境中满足智能化、网络化的需求,实现它们的互连、互操作能力,保证安全的网络访问,在平台设备的不断升级换代情况

下,保证软件的可用性,最大限度地降低开发成本,都是迫切需要解决的重要课题。

1.6 实例:网络照相机

嵌入式系统的表现形式丰富多彩,到底什么是嵌入式系统?它具有什么样的特点?为了更好地理解这些问题,下面来解剖一个具体的实例:网络照相机。

网络照相机利用互联网络或者局域网来作为图像传输手段,对远程的现场进行监控,识别监控现场的入侵事件,并把当时的现场图片压缩后记录下来。根据需求,可以把网络照相机按照功能分为如图 1.2 所示的四个模块。

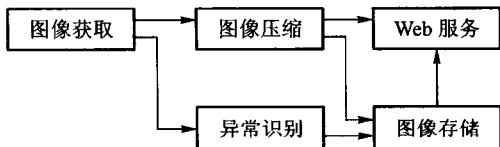


图 1.2 网络照相机的模块结构

首先,通过图像获取模块的摄像头接口获取一帧图像,由异常识别模块进行处理,识别是否有异物入侵等异常发生,再经过 JPEG 压缩,把压缩后的图像保存在缓冲区中,如果存在异常事件,则把图像存储在存储卡中,并产生异常记录,供用户查询。同时,系统向外提供 Web 服务,登陆后可以实时显示当前图像,也可以查询异常事件,并浏览异常发生前后的图像。

基于上述分析,结合性价比等需求,可以进一步设计出系统的硬件结构,如图 1.3 所示。

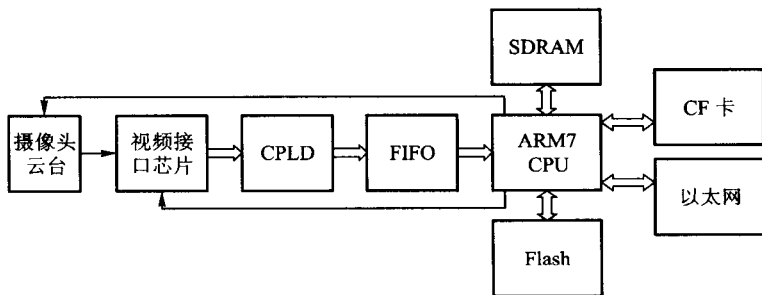


图 1.3 网络照相机硬件结构图

为了便于安装,并考虑到市场成熟度,采用带可转动云台的模拟摄像头,然后通过一款 Philips 公司的 SAA 接口芯片,把模拟信号转换成数字信号,再由一个简单的 CPLD 芯片采集图像信

号,并存储到 FIFO 芯片中,供 CPU 进行处理。考虑到此系统对价格的要求较为严格,以及需要 Web 服务,因此考虑采用 ARM7 处理器,由它控制摄像头云台、视频接口芯片的设置和初始化工作,由 Flash 存放数据,用 SDRAM 作为内存、CF 卡作为异常事件及相关图片的存放介质,通过以太网接口支持远程访问。

软件方案包含两个部分:一部分是 CPLD 中的控制逻辑,较为简单,主要是视频接口芯片控制逻辑和 FIFO 控制逻辑;另一部分则工作于 ARM7 处理器之上,考虑到功能方面的需求,采用 μ CLinux 操作系统,针对实际需要进行剪裁,支持 TCP/IP 协议和 CF 卡读写,定制 Web Server 程序,开发 Web 网站代码。

最终通过工艺设计,配备合适的外壳,整个系统就可以作为产品出售了。虽然嵌入式产品品种多样,采用的技术各不相同,但是上述开发过程和结构却是非常典型的。

小 结

本章给出了嵌入式系统的定义,探讨了嵌入式系统的体系结构,分析归纳了嵌入式系统的基本特征,对发展现状和趋势进行了简要分析,最后通过一个实例来说明典型嵌入式系统的基本结构和特征。在后续章节中,将对嵌入式系统各部分及其设计方法进行详细深入的阐述。

习 题

1. 什么是嵌入式系统? 嵌入式系统主要的特点是什么?
2. 列举出一些你所知道的嵌入式系统,分析一下它们的特点。
3. 利用搜索工具在 Internet 上搜集一款最新嵌入式产品的宣传资料,对照分析一下该款产品的典型特点,以及为达到这些目的而采取的具体措施。
4. 利用搜索工具在 Internet 上搜集当前主流的嵌入式处理器资料,对照嵌入式应用的特点,分析该嵌入式处理器得以广泛使用的原因。
5. 假设需要开发一种嵌入式产品,请提出具体的需求,并做初步的设计。

第2章 嵌入式系统设计方法

本章侧重于嵌入式系统的设计方法和流程。首先介绍嵌入式系统的基本设计过程,然后讨论嵌入式系统设计方法学,尤其是基于 SoC 的软硬件协同设计方法,最后介绍嵌入式系统的形式化描述方法。

2.1 引言

嵌入式系统设计方法涉及整个系统的各个方面。例如,为嵌入式系统建模以实现功能或非功能性需求;将模型分割成恰当的硬件与软件部分,以满足性能需求,同时优化成本、功耗和其他指标;以及从其他方面对实现及规范进行验证和确认等。这些是在设计任何嵌入式系统时都需要考虑的主要问题。

应用需求的变化和集成电路设计技术水平的进步推动着嵌入式系统设计方法不断发展。以硬件子系统的设计为例,以前电路设计是以原理图的形式完成的,硬件设计和软件设计被认为是性质完全不同的技术。但是,随着计算机技术的飞速发展,特别是硬件描述语言(Hardware Description Language, HDL)的发明,硬件设计方法发生了巨大的变化,数字系统的硬件组成及行为完全可以用 HDL 描述并进行仿真。在这种情况下,设计人员完全可以放弃原理图设计,转而借助 HDL 工具描述硬件电路的行为、功能、结构、数据流、信号连接关系和定时关系,设计出满足各种要求的硬件系统。

随着应用的不断发展,芯片的设计也越来越复杂,性能要求也越来越高,而且激烈的市场竞争使得电子产品上市时间的压力越来越大,设计者需考虑的问题也越来越多,采用传统的设计方法必将导致许多估计不到的难度。因此,人们必须重新审视已经熟知的设计方法,提出一套符合新的设计思路、新的工艺环境、严格的时序要求以及高性能指标的设计方法。

一种好的设计方法必须能够充分发挥当前的软硬件设计技术的优势。目前嵌入式系统的设计方法已经从集成电路发展到集成系统,跨入系统级设计阶段,以软硬件协同设计技术和 IP 重用技术为基础的、面向 SoC 的系统级设计方法就是其典型代表。本章将讨论这种设计方法及其设计流程的各个环节,尤其是其中软硬件统一描述的思想与方法。