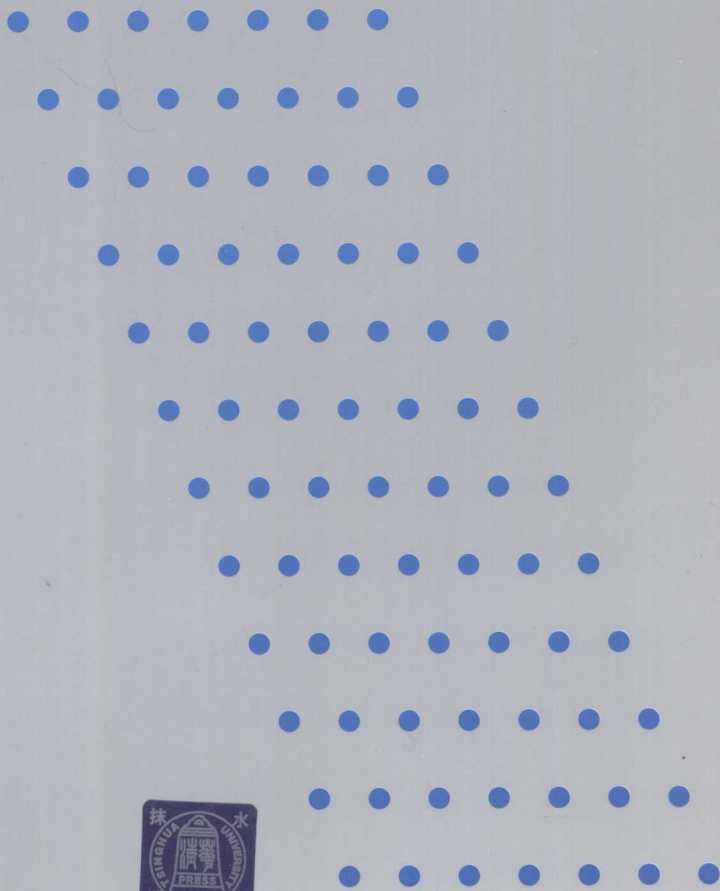
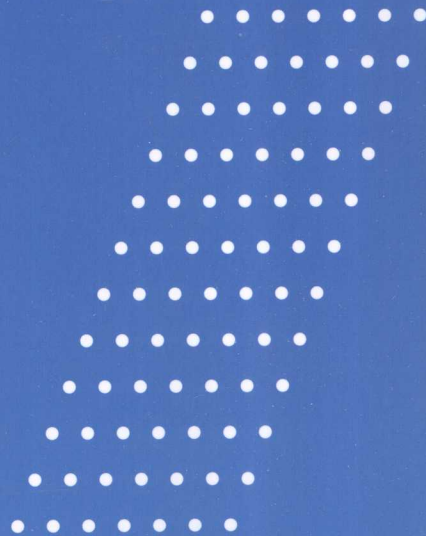


21世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材

孟祥莲 主编
孙平 朱国晗 高洪志 副主编

嵌入式系统原理 及应用教程



清华大学出版社

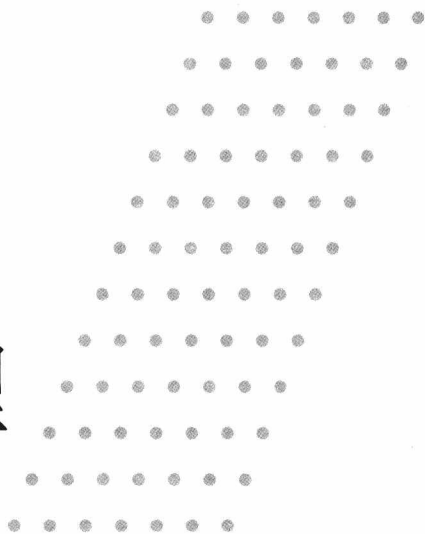


21世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材

孟祥莲 主编
孙平 朱国晗 高洪志 副主编

嵌入式系统原理 及应用教程

清华大学出版社
北京



内 容 简 介

本书全面系统地描述了 ARM9 微处理器的嵌入式系统体系结构,以 Samsung 公司的 S3C2440A 控制器为例,着重介绍了 ARM9 微处理器的结构、开发工具及 Linux 的程序设计等内容。

全书共分 4 部分:第 1 部分(第 1 章)为理论部分,着重介绍嵌入式系统的概念,包括嵌入式的特点、分类和应用。第 2 部分(第 2~6 章)为基础部分,着重介绍 ARM9 处理器的体系结构、指令系统、寻址方式、指令集;伪指令、汇编程序设计基础及与 C/C++ 的混合编程;S3C2440A 控制器的结构原理及外围电路的设计方法等。第 3 部分(第 7 章)为开发工具部分,着重介绍 ADS1.2 集成开发环境及嵌入式 Linux 的软件开发环境的使用。第 4 部分(第 8~10 章)为操作系统部分,着重介绍 Linux 的程序设计。

全书内容由浅入深,结构合理,采用理论与实践相结合的方法。整篇讲解立足点在实际应用,具有基础理论够用、有针对性、实用性及综合性强等特点。

本书不仅适用于高等院校计算机、电子、自动化及机电一体化等相关专业的本科生教材,也适用于从事嵌入式系统研究与开发的技术人员及普通读者参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式系统原理及应用教程/孟祥莲主编. —北京:清华大学出版社,2010.9

(21 世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材)

ISBN 978-7-302-23360-2

I. ①嵌… II. ①孟… III. ①微处理器,ARM—系统设计—高等学校—教材
IV. ①TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 153195 号

责任编辑:索梅薛阳

责任校对:李建庄

责任印制:孟凡玉

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62795954,jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015,zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:26 字 数:646 千字

版 次:2010 年 9 月第 1 版 印 次:2010 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:39.00 元

产品编号:036633-01

出版说明

嵌入式计算机技术是 21 世纪计算机技术两个重要发展方向之一,其应用领域相当广泛,包括工业控制、消费电子、网络通信、科学研究、军事国防、医疗卫生、航空航天等方方面面。我们今天所熟悉的电子产品几乎都可以找到嵌入式系统的影子,它从各个方面影响着我们的生活。

技术的发展和生产力的提高,离不开人才的培养。目前国内外各高等院校、职业学校和培训机构都涉足了嵌入式技术人才的培养工作,高校及其软件学院和专业的培训机构更是嵌入式领域高端人才培养的前沿阵地。国家有关部门针对专业人才需求大增的现状,也着手开发“国家级”嵌入式技术培训项目。2006 年 6 月底,国家信息技术紧缺人才培养工程(NITE)在北京正式启动,首批设定的 10 个紧缺专业中,嵌入式系统设计与软件开发、软件测试等 IT 课程一同名列其中。嵌入式开发因其广泛的应用领域和巨大的人才缺口,其培训也被列入商务部门实施服务外包人才培训“千百十工程”,并对符合条件的人才培训项目予以支持。

为了进一步提高国内嵌入式系统课程的教学水平和质量,培养适应社会经济发展需要的、兼具研究能力和工程能力的高质量专业技术人才。在教育部相关教学指导委员会专家的指导和帮助下,清华大学出版社与国内多所重点大学共同对我国嵌入式系统软硬件开发人才培养的课程框架和知识体系,以及实践教学内容进行了深入的研究,并在该基础上形成了“嵌入式系统教学现状分析及核心课程体系研究”、“微型计算机原理与应用技术课程群的研究”、“嵌入式 Linux 课程群建设报告”等多项课程体系的研究报告。

本系列教材是在课程体系的研究基础上总结、完善而成,力求充分体现科学性、先进性、工程性,突出专业核心课程的教材,兼顾具有专业教学特点的相关基础课程教材,探索具有发展潜力的选修课程教材,满足高校多层次教学的需要。

本系列教材在规划过程中体现了如下一些基本组织原则和特点。

(1) 反映嵌入式系统学科的发展和专业教育的改革,适应社会对嵌入式人才的培养需求,教材内容坚持基本理论的扎实和清晰,反映基本理论和原理的综合应用,在其基础上强调工程实践环节,并及时反映教学体系的调整和教学内容的更新。

(2) 反映教学需要,促进教学发展。教材要适应多样化的教学需要,正确把握教学内容和课程体系的改革方向,在选择教材内容和编写体系时注意体现素质教育、创新能力与实践能力的培养,为学生知识、能力、素质协调发展创造条件。

(3) 实施精品战略,突出重点。规划教材建设把重点放在专业核心(基础)课程的教材建设上;特别注意选择并安排一部分原来基础比较好的优秀教材或讲义修订再版,逐步形成精品教材;提倡并鼓励编写体现工程型和应用型的专业教学内容和课程体系改革成果的教材。

(4) 支持一纲多本,合理配套。专业核心课和相关基础课的教材要配套,同一门课程可以有多个具有各自内容特点的教材。处理好教材统一性与多样化,基本教材与辅助教材、教

学参考书,文字教材与软件教材的关系,实现教材系列资源的配套。

(5) 依靠专家,择优落实。在制定教材规划时依靠各课程专家在调查研究本课程教材建设现状的基础上提出规划选题。在落实主编人选时,要引入竞争机制,通过申报、评审确定主编。书稿完成后认真实行审稿程序,确保出书质量。

繁荣教材出版事业,提高教材质量的关键是教师。建立一支高水平的、以老带新的教材编写队伍才能保证教材的编写质量,希望有志于教材建设的教师能够加入到我们的编写队伍中来。

21 世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材

联系人:魏江江 weijj@tup.tsinghua.edu.cn

前 言

“嵌入式无处不在”已成为现实。嵌入式系统应用的领域日益广阔,与网络通信、数字家庭、工业控制、国防军事、医疗系统、安防系统、能源系统、交通系统等行业融合正在加深,智能设备终端应用市场的快速发展对嵌入式系统提出了持续需求,使得嵌入式系统产业在前所未有的机遇下快速地发展。因此,系统地开设嵌入式系列课程是必要的,这样就需要合适的配套教材,鉴于这种情况,作者参考了大量国内外教材,结合应用型本科院校的特点,编写了《嵌入式系统原理及应用教程》一书。

全书着眼于“应用”、立足于“工程开发”,具有以下特点。

1. 综合性

嵌入式系统是嵌入式硬件和嵌入式软件的综合体,硬件的设计服务于软件功能,软件的开发也必须考虑硬件资源的有限性。根据嵌入式系统的这一特点,本书采用“ARM9 处理器+Linux 操作平台+应用程序设计”的介绍方法。

2. 基础性

本书详细地讲解了 ARM9 处理器的体系结构和编程方法,尤其是举例讲解了指令系统中的指令集及汇编语言与 C/C++ 混合编程的方法,以便读者掌握好底层嵌入式开发的技能。

3. 实用性

本书以 S3C2440A 芯片和 Linux 操作系统为例,举例介绍了开发环境的使用与调试方法,详细介绍了嵌入式软件的编程技术。例如介绍 AC97 音频控制器和触摸屏的设计实例。

4. 针对性

本书是编者几年嵌入式教学的总结。主要是针对应用型本科学生实践性强的特点,在介绍 ARM9 处理器的原理及结构的同时,注重了各功能模块的应用介绍。

本书系统地介绍了嵌入式系统软硬件的组成、工作原理和设计方法。全书分为 4 部分,共 11 章,主要内容和篇章结构安排如下。

第 1 部分为理论部分,由第 1 章组成。介绍嵌入式系统的基本概念,包括嵌入式系统的定义、组成、特点、分类和应用领域。

第 2 部分为基本部分,由第 2~6 章组成。第 2 章重点讲解 ARM9 处理器的体系结构;第 3 章详细讲解基于 ARM 的嵌入式处理器指令系统;第 4 章讲解其嵌入式系统的程序设计基础,包括汇编语言程序设计及与 C/C++ 语言的混合编程技术;第 5~6 章详细讲解 S3C2440A 芯片内部结构、内部外设及工作原理和应用方法,并辅以实例讲解。

第 3 部分为开发工具部分,由第 7 章组成。着重讲解 ADS1.2 集成开发环境及嵌入式 Linux 的软件开发环境的使用。

第 4 部分为操作系统部分,由第 8~11 章组成。第 8 章详细分析嵌入式系统的 Boot Loader;第 9~11 章以实例的方式讲解基于“S3C2440A 芯片+Linux 操作平台”的设计方法。

全书由孟祥莲主编并编写第3~6章,高洪志编写第1~2章,孙平编写第7~8章,朱国晗编写第9~11章。

由于嵌入式技术发展迅速,加上作者水平有限,时间仓促,书中难免有疏漏和错误之处,无论如何,请读者不吝赐教,以便我们在改版或再版的时候及时纠正补充。

作者

2010年8月

目 录

第 1 章 嵌入式系统概述	1
1.1 嵌入式系统定义	1
1.1.1 嵌入式系统的概念	1
1.1.2 嵌入式系统的特点	2
1.2 嵌入式系统的发展概述	3
1.2.1 嵌入式系统的历史与发展	3
1.2.2 嵌入式系统的功能	5
1.3 嵌入式系统的硬件和软件特征	6
1.3.1 嵌入式系统硬件平台	6
1.3.2 硬件抽象层	7
1.3.3 嵌入式操作系统	8
1.4 嵌入式系统的分类	9
1.5 嵌入式系统的应用	10
1.6 本章小结	11
1.7 习题 1	11
第 2 章 ARM 微处理器概述与编程模型	12
2.1 ARM 微处理器概述	12
2.1.1 ARM 微处理器的特点	12
2.1.2 ARM 微处理器系列	12
2.2 ARM 微处理器结构	18
2.2.1 RISC 体系结构	18
2.2.2 ARM 微处理器的寄存器结构	20
2.2.3 ARM 微处理器的指令结构	20
2.2.4 ARM 微处理器的应用选型	20
2.3 ARM 微处理器的工作状态	21
2.4 ARM 体系结构的存储器格式	21
2.4.1 指令长度及数据类型	22
2.4.2 存储管理单元	22
2.5 处理器模式	27
2.6 寄存器组织	27
2.6.1 ARM 状态下的寄存器组织	28
2.6.2 Thumb 状态下的寄存器组织	29

2.6.3	程序状态寄存器	31
2.7	异常	33
2.7.1	ARM 体系结构所支持的异常类型	33
2.7.2	异常优先级	34
2.7.3	异常的响应及返回	34
2.7.4	应用程序中的异常处理	35
2.8	本章小结	36
2.9	习题 2	36
第 3 章	ARM9 指令系统	37
3.1	ARM 处理器的寻址方式	37
3.1.1	寄存器寻址	37
3.1.2	立即寻址	37
3.1.3	寄存器间接寻址	37
3.1.4	变址寻址	38
3.1.5	寄存器移位寻址	38
3.1.6	多寄存器寻址	40
3.1.7	堆栈寻址	41
3.1.8	相对寻址	41
3.2	ARM 指令集	41
3.2.1	指令格式	41
3.2.2	条件码	42
3.2.3	ARM 存储器访问指令	42
3.2.4	ARM 数据处理类指令	47
3.2.5	ARM 分支指令	53
3.2.6	ARM 协处理器指令	55
3.2.7	ARM 软件中断指令	56
3.3	Thumb 指令集	57
3.4	本章小结	59
3.5	习题 3	59
第 4 章	嵌入式程序设计基础	61
4.1	伪指令	61
4.1.1	通用伪指令	61
4.1.2	与 ARM 指令相关的伪指令	69
4.1.3	与 Thumb 指令相关的伪指令	71
4.2	汇编语言的语句格式	72
4.2.1	书写格式	72
4.2.2	汇编语言中表达式和运算符	72

4.3	汇编程序应用	76
4.3.1	汇编程序基本结构	76
4.3.2	子程序调用	76
4.4	汇编语言与 C/C++ 的混合编程	77
4.4.1	在 C/C++ 程序中内嵌汇编指令的语法格式	79
4.4.2	C/C++ 与汇编语言的混合编程应用	79
4.5	本章小结	83
4.6	习题 4	84
第 5 章	嵌入式内部可编程模块	85
5.1	存储控制模块	85
5.1.1	存储器控制器	85
5.1.2	NAND Flash 控制器	90
5.1.3	存储器实例	96
5.2	GPIO	100
5.2.1	端口功能	101
5.2.2	端口配置寄存器	105
5.2.3	端口其他寄存器	114
5.2.4	I/O 应用实例	124
5.3	中断系统	126
5.3.1	中断优先级	128
5.3.2	中断控制寄存器	129
5.3.3	中断编程实例	136
5.4	DMA	137
5.4.1	S3C2440A 芯片的 DMA 方式	137
5.4.2	S3C2440A 芯片的 DMA 寄存器	139
5.4.3	S3C2440A 芯片的 DMA 实例	143
5.5	定时部件	147
5.5.1	看门狗定时器原理及实例	147
5.5.2	RTC 部件	149
5.5.3	Timer 部件	154
5.5.4	定时部件应用实例	162
5.6	UART	169
5.6.1	UART 的操作	170
5.6.2	UART 接口寄存器	173
5.6.3	UART 实例	177
5.7	ADC 及触摸屏接口	178
5.7.1	功能描述	179
5.7.2	ADC 及触摸屏接口特殊寄存器	180

5.7.3	A/D 转换实例	182
5.8	本章小结	184
5.9	习题 5	184
第 6 章	嵌入式接口技术应用	185
6.1	LCD 显示器接口	185
6.1.1	LCD 的控制器	185
6.1.2	S3C2440A 芯片的 LCD 专用寄存器	189
6.1.3	S3C2440A 芯片 LCD 寄存器的设置	195
6.2	I ² C 总线	196
6.2.1	S3C2440A 的 I ² C 接口	196
6.2.2	I ² C 总线接口特殊寄存器	198
6.2.3	I ² C 编程举例	200
6.3	I ² S 总线	204
6.3.1	发送接收模式	204
6.3.2	音频串行接口格式	204
6.3.3	I ² S 总线接口特殊寄存器	205
6.3.4	I ² S 编程实例	207
6.4	AC97 控制器	210
6.4.1	AC97 控制器操作	211
6.4.2	AC97 控制器特殊寄存器	213
6.4.3	AC97 应用实例	215
6.5	S3C2440A 的摄像头	219
6.5.1	S3C2440A 的摄像头接口	219
6.5.2	摄像头接口特殊寄存器	223
6.5.3	摄像头接口应用实例	232
6.6	本章小结	233
6.7	习题 6	233
第 7 章	软件开发环境	234
7.1	ADS1.2 集成开发环境	234
7.1.1	使用 ADS 创建工程	234
7.1.2	用 AXD 进行代码调试	240
7.2	嵌入式 Linux 的软件开发环境	244
7.2.1	安装交叉编译环境	245
7.2.2	嵌入式 Linux 程序开发工程管理	251
7.3	本章小结	260
7.4	习题 7	261

第 8 章 嵌入式系统 Boot Loader 技术	262
8.1 Boot Loader 的基本概念	262
8.1.1 Boot Loader 的相关设备和机制	262
8.1.2 Boot Loader 的启动过程	263
8.1.3 Boot Loader 的操作模式	263
8.1.4 Boot Loader 的总体设计	264
8.2 Boot Loader(vivi)的代码分析	271
8.3 本章小结	279
8.4 习题 8	280
第 9 章 嵌入式 Linux 操作系统移植	281
9.1 嵌入式 Linux 基本概念	281
9.2 嵌入式 Linux 内核移植	285
9.2.1 内核修改	285
9.2.2 内核配置	288
9.2.3 内核编译	300
9.3 建立 Linux 根文件系统	304
9.4 下载目标文件	308
9.5 本章小结	309
9.6 习题 9	309
第 10 章 嵌入式 Linux 设备驱动程序开发	310
10.1 嵌入式 Linux 驱动程序开发基础	310
10.1.1 嵌入式 Linux 设备驱动程序分类	310
10.1.2 最简单的内核模块	311
10.2 嵌入式 Linux 设备驱动重要技术	315
10.2.1 内存与 I/O 端口	315
10.2.2 同步机制	320
10.2.3 阻塞与非阻塞	328
10.2.4 时间问题	330
10.2.5 中断处理	335
10.3 字符设备驱动程序	336
10.3.1 字符设备驱动结构	336
10.3.2 字符设备驱动实例——LED 驱动	342
10.4 网络设备驱动程序	347
10.4.1 Linux 网络设备简介	347
10.4.2 网络驱动核心数据结构	349
10.4.3 网络驱动程序分析	353

10.5	设备驱动实例	364
10.5.1	ADC 设备驱动实例	364
10.5.2	PWM 设备驱动实例	366
10.5.3	触摸屏设备驱动实例	368
10.6	本章小结	376
10.7	习题 10	376
第 11 章	嵌入式 Linux 应用程序设计	377
11.1	嵌入式 Linux C 语言应用程序开发基础	377
11.1.1	编写源程序	377
11.1.2	交叉编译程序	380
11.1.3	调试程序	380
11.2	文件 I/O 编程	382
11.2.1	文件 I/O 操作例程	382
11.2.2	文件 I/O 操作 API	383
11.3	网络编程	388
11.3.1	网络通信基础及例程	388
11.3.2	网络通信 API	391
11.4	应用实例	397
11.4.1	ADC 应用实例	397
11.4.2	PWM 蜂鸣器控制应用实例	397
11.4.3	触摸屏应用实例	399
11.5	本章小结	401
11.6	习题 11	401
	参考文献	402

第 1 章 嵌入式系统概述

嵌入式系统是面向用户、面向产品、面向应用的,并被各个领域广泛地应用。目前,各种各样的嵌入式系统大量应用到各个领域,从航天到运输,从军事到工业,从科学研发到日常生活,从网络通信设备到智能仪器、日常消费电子设备,到处有嵌入式系统的存在。随着嵌入式技术的发展,嵌入式系统将更广泛地应用于人类生活的方方面面。它是一个技术密集、资金密集、高度分散、不断创新的基于硅片的专用集成系统。嵌入式系统拥有巨大的市场空间,而目前产业界对嵌入式系统人才需求的空间也非常大。

1.1 嵌入式系统定义

1.1.1 嵌入式系统的概念

嵌入式系统(embedded systems)是指:“嵌入到对象体系中的、用于执行独立功能的专用计算机系统”。定义为以应用为中心,以微电子技术、控制技术、计算机技术和通信技术为基础,强调硬件软件的协同性与整合性,软件硬件可剪裁的,适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗和应用环境等有严格要求的专用计算机系统。

嵌入式系统的嵌入式本质就是将一个计算机嵌入到一个对象体系中去。

嵌入式系统主要由嵌入式处理器、支撑硬件和嵌入式软件组成。其中嵌入式处理器通常是单片机或微控制器,支撑硬件主要包括定时器、微控制器、存储器、传感器等,嵌入式软件则包括支撑硬件的驱动程序、操作系统、应用软件系统等。它是集计算机软硬件于一体的可独立工作的“器件”,共同实现诸如实时控制、监视、管理、移动计算、数据处理等各种自动化处理任务。

最简单的嵌入式系统仅有执行单一功能的控制能力,在唯一的 ROM(只读存储器)中仅有实现单一功能的控制程序,无微型操作系统。复杂的嵌入式系统,例如个人数字助理(PDA)、手持电脑(HPC)等,具有与 PC 几乎一样的功能。实质上与 PC 的区别仅仅是将微型操作系统与应用软件嵌入在 ROM、RAM 或 Flash 存储器中,而不是存储于磁盘等载体中。很多复杂的嵌入式系统又是由若干个小型嵌入式系统组成的。

从广义上讲,凡是带有微处理器的专用硬件系统都可以称为嵌入式系统,如各类单片机和 DSP 系统。这些系统在完成较为单一的专业功能时具有简捷高效的特点。但它们的软件的能力有限。因此,推荐使用由嵌入式微处理器构成独立系统,具有自己的操作系统,具有特定功能,用于特定场合的嵌入式系统。所以,一个嵌入式系统就是一个硬件和软件的集合体,它包括硬件和软件两部分。其中硬件包括嵌入式处理器、控制器、数字信号处理器(DSP)、存储及外设器件、输入输出(I/O)。由于应用领域不同,应用程序千差万别。

按照上述嵌入式系统的定义,只要满足定义中三要素的计算机系统,都可称为嵌入式系

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(MCU、SoC)。因此,有些人把嵌入式处理器当作嵌入式系统,但由于嵌入式系统是一个嵌入式计算机系统,因此,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为嵌入式系统。

嵌入式系统不同于常见的计算机系统,它不以独立设备的物理形态出现,即它没有一个统一的外观,它的部件根据主体设备及应用的需要嵌入在设备的内部,发挥着运算、处理、存储及控制的作用。

1.1.2 嵌入式系统的特点

嵌入式系统特别强调“量身定做”的原则,开发人员往往需要针对某一种特殊用途开发出一个截然不同的嵌入式系统来,所以很难不经过“大量”修改而直接将一个嵌入式系统完全套用到其他的嵌入式产品上去。

“嵌入性”、“专用性”与“计算机系统”是嵌入式系统的3个基本要素。对象系统则是指嵌入式系统所嵌入的宿主系统。嵌入式系统的特点是由3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”相关的特点:由于是嵌入到对象系统中,因此必须满足对象系统的环境要求,如物理环境(小型)、电气环境(可靠)、成本(价廉)等要求。

与“专用性”相关的特点: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”相关的特点: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与对象系统相适应的接口电路。

与通用的计算机系统相比,嵌入式系统具有以下显著特点。

1. 系统内核小

由于嵌入式系统应用于小型电子装置,系统资源相对有限,所以内核较传统的操作系统要小得多。比如,ENE公司的OSE分布式系统,内核只有5KB;3Com公司的32位嵌入式操作系统Palm OS,内核为几十KB;微软开发的基于掌上型电脑操作的32位嵌入式操作系统Windows CE,核心为占500KB的ROM和250KB的RAM,整个Windows CE操作系统包括硬件抽象层、Windows CE内核、User、GUI、文件系统和数据库,大约共1.5MB。

而传统的操作系统,如Windows的内核,则要大得多。

2. 专用性强

嵌入式系统通常是面向特定任务的,相对于一般通用PC计算平台,嵌入式系统的个性化很强,其中软件系统和硬件的结合非常紧密,一般要针对硬件进行软件系统的移植。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,有时甚至要废弃整个系统重新进行设计。

3. 运行环境差异大

嵌入式系统使用范围极为广泛,其运行环境差异很大。如运行在冰天雪地的南北极、温度很高的汽车、要求恒温 and 恒湿的科学实验室等,特别是在恶劣的环境中,或者突然断电等情况下,要求系统仍然能够正常工作。

4. 可靠性要求高

嵌入式系统不像通用的PC一样,“死机”时能通过手动启动计算机。嵌入式系统往往

要长期在无人值守的环境下运行,甚至是常年运行,因此对可靠性的要求特别高。

如果说在普通应用(如手机等消费电子成品)中,有少量错误还可以接受的话,那么,在一些特殊的应用场合,如核电站、航天航空、工业控制、汽车制造等,系统的一个错误就可能造成很大的损失。为实现高可靠性要求这一目标,就需要建立科学的系统测试和可靠性的评估体系,同时引入一些系统自动恢复机制,如看门狗定时器,在软件失去控制后能使之重新开始正常的运行。

5. 系统精简和高实时性操作系统

现在许多嵌入式系统要胜任的工作越来越复杂,嵌入式操作系统就成为嵌入式系统设计中必不可少的一个环节。嵌入式操作系统与传统操作系统的基本功能是一致的,但嵌入式操作系统还是有其独特的要求和技术特点。如实时性、可裁剪性、可伸缩性和易移植性等。

6. 具有固化在非易失性存储器中的代码

嵌入式系统的目标代码通常是固化在非易失性存储器芯片中。嵌入式系统开启后,必须有代码对系统进行初始化,以便其余的代码能够正常运行,这就是建立运行时的环境。比如,初始化 RAM 放置变量、测试内存的完整性、测试 ROM 完整性以及其他的初始化任务。

为了系统的初始化,几乎所有系统都要在非易失性存储器中存放部分代码(启开代码)。为了提高执行速度和系统可靠性,大多数嵌入式系统常常把所有代码(或者其压缩代码)固化,存放在存储器芯片和处理器芯片的内部存储器件中,而不使用外部存储介质。

7. 嵌入式系统开发工作和环境

嵌入式系统开发需要专门的开发工具和环境。由于嵌入式系统本身不具备自主开发能力,即使设计完成之后,用户通常也不能对其中的程序进行修改,因此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硬件以及各种逻辑分析仪、混合信号滤波器等的。开发时有主机和目标机,主机用于程序的开发,目标机作为最后的执行机,开发时需要二者交替结合进行。

1.2 嵌入式系统的发展概述

1.2.1 嵌入式系统的历史与发展

1. 始于微型机时代的嵌入式系统

20世纪70年代,Intel公司推出有史以来第一个微处理器4004。计算机的形态和应用因而出现了历史性的变化。以微处理器为核心的微型计算机以其小型、价廉、高可靠性特点,迅速走出机房。基于高速数值解算能力的微型机,表现出的智能化水平引起了控制专业人士的兴趣,要求将微型机嵌入到一个对象体系中,实现对象体系的智能化控制。例如,将微型计算机经电气加固、机械加固,并配置各种外围接口电路,安装到大型舰船中构成自动驾驶仪或轮机状态监测系统。这样一来,计算机便失去了原来的形态与通用的计算机功能。为了区别于原有的通用计算机系统,把嵌入到对象体系中,实现对象体系智能化控制的计算机,称为嵌入式计算机系统。因此,嵌入式系统诞生于微型机时代。

(1) 单片机开创了嵌入式系统独立发展之路

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。即芯片化道路,从而开创了嵌入式系统独立发展的单片机时代。

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中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形态嵌入式系统的典型结构体系。

(2) 单片机的技术发展史

单片机诞生于20世纪70年代末,经历了SCM、MCU、SoC三大阶段。

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。

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,因此,发展MCU的重任不可避免地落在电气、电子技术厂家。从这一角度来看,Intel逐渐淡出MCU的发展也有其客观因素。在发展MCU方面,最著名的厂家当数Philips公司。

Philips公司以其在嵌入式应用方面的巨大优势,将MCS-51从单片微型计算机迅速发展为微控制器。因此,回顾嵌入式系统发展道路时,不要忘记Intel和Philips的历史功绩。

单片机是嵌入式系统的独立发展之路,是向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。因此,专用单片机的发展自然形成了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。

2. 现代计算机技术的两大分支

早期,人们勉为其难地将通用计算机系统进行改装,在大型设备中实现嵌入式应用。然而,对于众多的对象系统(如家用电器、仪器仪表、工控单元等),无法嵌入通用计算机系统,况且嵌入式系统与通用计算机系统的技术发展方向完全不同,因此,必须独立地发展通用计算机系统与嵌入式计算机系统,这就形成了现代计算机技术发展的两大分支。

由于嵌入式计算机系统的嵌入性本质是要将一个计算机嵌入到对象体系中,实现的是对象体系智能化控制的计算机。嵌入式系统的技术要求是对象的智能化控制能力;技术发展方向是与对象系统密切相关的嵌入性能、控制能力与控制的可靠性。

通用计算机系统的技术要求是高速、海量的数值计算;技术发展方向是总线速度的无限提升,存储容量的无限扩大。