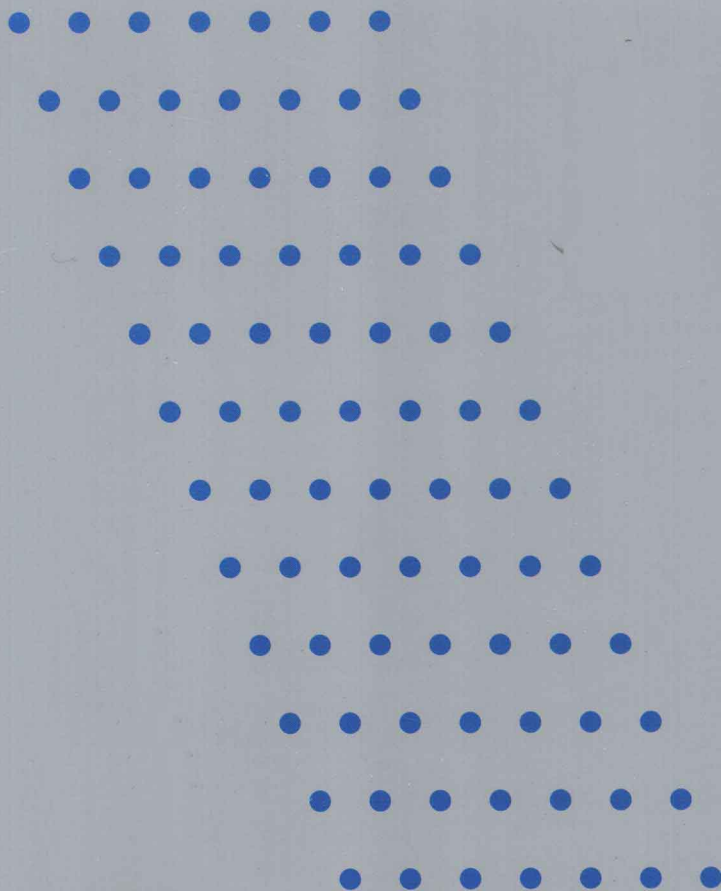
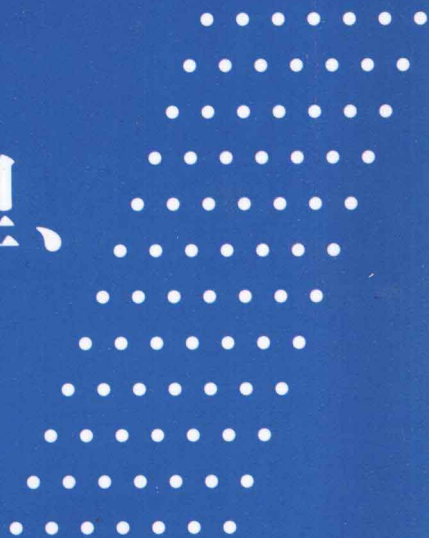


21世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材

卞正才 编著

嵌入式系统原理、 设计与应用

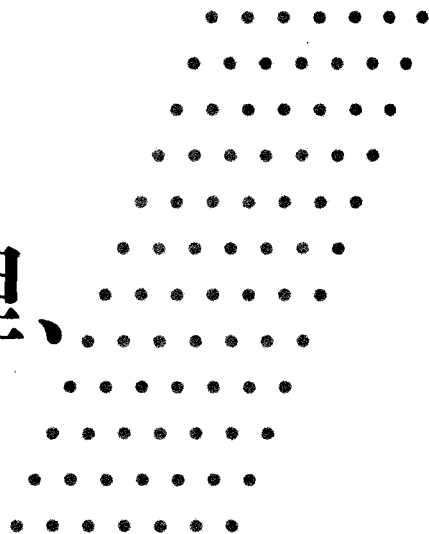


清华大学出版社

21世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材

卞正才 编著

嵌入式系统原理、 设计与应用



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

《嵌入式系统原理、设计与应用》是在综合了相关课程讲义和教学大纲的基础上编写的。此课程规划由浅及深系统地讲述了嵌入式系统之软硬件结构、嵌入式系统开发中所需要的各方面知识,并通过实例、尤其针对通信接口详加探讨,加深了对嵌入式系统知识的认识和理解,以及嵌入式系统近来的重要发展和应用。让学生能对嵌入式系统有一全面的了解与认识。此课程的核心是构建一套完整的嵌入式系统设计过程,使学生能够获得完整而扎实的通信接口设计及系统整合的能力。

通过本课程的学习,使学生不仅可以成为嵌入式系统的开发者,更重要的是可以培养嵌入式系统产品设计规划等诸多方面的能力,能够独立地进行嵌入式应用开发工作。

本书结构清晰,语言简洁,采用大量的图表来说明技术问题,因而通俗易懂,适合于高等院校电气信息类专业(电子工程、自动化、电子资讯工程、通信工程、计算机科学与技术、电子科学与技术、生物医学工程)的本科高年级和研究生作为必修或选修教材,也可以作为相关科技人员的指导用书。

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、设计与应用/卞正才编著.--北京:清华大学出版社,2012.8

21世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材

ISBN 978-7-302-28724-7

I. ①嵌… II. ①卞… III. ①微型计算机—系统设计—高等学校—教材 IV. ①TP360.21

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第088735号

责任编辑:魏江江 薛 阳

封面设计:常雪影

责任校对:李建庄

责任印制:张雪娇

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

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

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:保定市巾画美凯印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:18 字 数:446千字

版 次:2012年8月第1版 印 次:2012年8月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:29.50元

产品编号:032928-01

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,其培训也被列入国家商务部门实施服务外包人才培养“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次。在教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议下,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

我们的生活离不开电子设备,于是一定生活在嵌入式系统的世界中,嵌入式系统无处不在,几乎所有的电子设备中都包含了嵌入式系统。

日常生活中手机、游戏机、电视机、洗衣机、厨房设备、iPad 等掌上移动设备以及汽车电子设备,都有嵌入式系统的身影;即便在电脑中,除了 CPU 主板以外,也有许多嵌入式系统,如硬盘、光驱等;在工业生产集散系统过程控制中,都已使用嵌入式系统;现代军事上对敌方的精准侦测、精确打击,全靠嵌入式系统的功劳;外太空探测、太空遨游和许多医疗仪器更是离不开嵌入式系统的工作。过去 PC 上的应用,如文档编辑与查看、网络浏览、多媒体播放、信息处理、自动控制等,几乎都可由嵌入式系统来实现。

随着 CPU 处理器运行能力的快速增强,嵌入式系统的定义范畴已由传统单一功能、简单形态的装置发展至具备多样化功能且能互相传递信息的装置。因此,了解此类系统的软硬件要件及其所提供的通信接口便成为一重要课题。

此课程规划将首先着重于了解嵌入式系统之软硬件架构,并针对通信接口详加探讨。为使修课学生能感受实际系统之运作,本课程将配合所需的工作项目,来提供一整合的实验器材及环境。让学生对于嵌入式系统有一全面的了解与认识。此课程核心是构建一套完整的嵌入式系统设计过程,使学生能够获得完整而扎实的通信接口设计及系统整合的能力。

课程主要内容包含嵌入式系统的基本原理、软硬件设计基础、最新设计理念和项目开发流程与实验。课程预期目标应当是深入理解嵌入式系统基本原理,掌握嵌入式系统硬件设计、开发技术的基础知识,了解其设计的最新技术。课程安排由以下部分组成,嵌入式系统综述、嵌入式系统设计开发过程、基于 ARM 的嵌入式系统硬件设计、嵌入式系统操作系统、设计实例、演示实验。学习本课程所需基础:计算机原理、计算机体系结构、计算机操作系统、网络、通信、控制和电子技术(CPLD、FPGA、DSP)。

在本书的编写过程中得到复旦大学信息科学与工程学院通信科学与工程系不少同事和学生以及清华大学出版社魏江江先生的帮助,值此,特向诸位表示衷心的感谢。

由于书中涉及内容较为广泛,难免会出现一些错误,我诚挚期望读者指出书中的错误及不足。

欢迎进入嵌入式系统世界!

编 者

2012 年 5 月

目 录

第 1 章 嵌入式系统概述	1
1.1 嵌入式系统诞生的背景	1
1.2 嵌入式系统简介	2
1.2.1 嵌入式系统的定义.....	2
1.2.2 嵌入式系统的结构.....	4
1.2.3 嵌入式系统的特点.....	4
1.2.4 嵌入式系统的应用领域.....	7
1.3 嵌入式系统的发展	7
1.3.1 嵌入式系统过去的发展.....	7
1.3.2 嵌入式系统的现状.....	8
1.3.3 嵌入式系统的发展趋势.....	9
第 2 章 嵌入式系统的硬件平台 ARM	10
2.1 ARM7 内核基本结构	10
2.2 ARM9 处理器	11
2.2.1 与 ARM7 处理器的比较.....	11
2.2.2 ARM9TDMI 内核	12
2.2.3 基于 ARM9 处理器的三星 S3C2410X 处理器详解.....	12
2.2.4 运行模式	23
2.3 ARM 总线结构	24
2.4 ARM 寄存器	24
2.4.1 通用寄存器	25
2.4.2 程序状态寄存器	26
2.4.3 ARM 状态寄存器集与 Thumb 状态寄存器集	28
2.5 存储设备.....	29
2.5.1 存储系统结构	29
2.5.2 存储空间管理单元 MMU	31
2.5.3 随机存储器	31
2.5.4 只读存储器	34
2.6 ARM 寻址方式	34
2.7 I/O 设备.....	36
2.7.1 键盘	36
2.7.2 LED	37

2.7.3	显示器	37
2.7.4	A/D 及 D/A 转换器	38
2.7.5	触摸屏	38
2.7.6	计数器	39
2.8	接口设备	40
2.8.1	内存接口	40
2.8.2	I/O 设备接口	40
2.9	ARM 中断与异常	41
2.9.1	中断	41
2.9.2	异常	43
第 3 章	ARM 指令集	47
3.1	计算机体系结构简介	47
3.2	ARM 指令集概述	48
3.2.1	ARM 指令的分类	49
3.2.2	指令可选后缀	52
3.3	指令集	54
3.3.1	数据处理指令	54
3.3.2	加载/存储指令	63
3.3.3	寄存器访问指令	65
3.3.4	跳转/中断指令	67
3.3.5	协处理器指令	69
3.3.6	伪指令	71
3.3.7	浮点指令集	73
3.4	ARM 指令应用实例——FIR 滤波器	77
第 4 章	基本编程概念及编译技巧	79
4.1	用高级语言 C 进行编码	79
汇编语言和高级语言的优点比较		79
4.2	程序元素	80
4.2.1	头文件、源文件及预处理指令	80
4.2.2	宏与函数	82
4.2.3	数据类型、数据结构的分类、修饰符、语句、循环和指针	83
4.2.4	队列	92
4.2.5	堆栈	95
4.2.6	链表	97
4.3	基础编译技术	105
4.3.1	语句翻译	106
4.3.2	数据结构	109

4.3.3	表达式的简化	109
4.3.4	消除死代码	110
4.3.5	寄存器的分配	110
4.3.6	调度	113
4.3.7	指令的选择	114
4.3.8	汇编与连接	115
第 5 章	程序建模	120
5.1	程序设计范型	120
5.1.1	状态机范型	121
5.1.2	数据流范型	126
5.1.3	Petri 网范型	127
5.2	软件分析过程中的建模	132
5.2.1	数据流图	133
5.2.2	控制数据流图	134
5.3	多处理器系统的建模	135
5.3.1	同步数据流图模型	137
5.3.2	同构的同步数据流图模型	138
5.3.3	无环优先扩展图模型	138
5.3.4	定时的 Petri 网和扩展预测/转换网模型	139
5.3.5	多线程图系统模型	141
5.3.6	图和 Petri 网在多处理器系统中的应用	142
5.4	统一建模语言	146
第 6 章	程序设计和分析	152
6.1	程序分析	152
6.1.1	执行时间的分析与优化	152
6.1.2	功耗的分析与优化	158
6.1.3	程序大小的分析与优化	160
6.2	程序的分析、设计与实现	162
6.2.1	程序分析	162
6.2.2	程序设计	164
6.2.3	程序实现	166
6.3	程序的验证及测试	166
6.3.1	白盒测试	167
6.3.2	黑盒测试	171
6.3.3	功能评估测试	172
6.3.4	性能测试	173
6.4	实时程序设计问题	173

6.4.1	在需求和规范的分析中存在的问题	173
6.4.2	设计和实现中存在的问题	174
6.4.3	系统集成中存在的问题	174
6.4.4	测试中存在的问题	174
6.5	软件维护	175
第7章	嵌入式系统开发案例	177
7.1	嵌入式系统开发的一般过程	177
7.1.1	需求分析	177
7.1.2	详细设计	181
7.1.3	实现阶段	184
7.1.4	测试阶段	188
7.2	嵌入式系统开发案例	191
7.2.1	基于 ARM 和 μ COS 的嵌入式 Web 服务器设计	191
7.2.2	嵌入式系统 PDA 智能手机设计方案	207
7.3	嵌入式系统应用前景展望	212
7.3.1	工业控制	212
7.3.2	交通管理	213
7.3.3	信息家电	213
7.3.4	电子商务	214
7.3.5	医疗设备	214
7.3.6	机器人	214
第8章	嵌入式系统的实验设计部分	215
8.1	背景知识	215
8.1.1	嵌入式系统概念简介	216
8.1.2	ARM 简介	217
8.1.3	Linux 操作系统	219
8.2	实验环境	221
8.2.1	实验开发板	221
8.2.2	ARM 开发工具	222
8.2.3	FL2440 开发板基本设置	224
8.2.4	小结	226
8.3	实验一——熟悉 ARM 嵌入式平台	226
8.3.1	实验概括	226
8.3.2	实验目的	227
8.3.3	实验内容	227
8.3.4	小结	235
8.4	实验二——外设与接口	235

8.4.1	实验概括	235
8.4.2	实验目的	235
8.4.3	实验内容	236
8.4.4	小结	242
8.5	实验三——Linux 操作系统	242
8.5.1	实验概括	242
8.5.2	实验目的	242
8.5.3	嵌入式 Linux	242
8.5.4	ARM 系列与 Linux	243
8.5.5	Linux 系统安装	244
8.5.6	交叉编译环境	246
8.5.7	Linux 的常用指令	247
8.5.8	连接方式	248
8.5.9	Minicom 的使用	250
8.5.10	Bootloader	250
8.5.11	Linux 内核移植	251
8.5.12	Linux 下的一个 A/D 转换实验	251
8.5.13	Linux 系统中的基本应用	254
8.5.14	小结	254
8.6	进阶实验	255
8.6.1	实验概括	255
8.6.2	交叉编译+网络服务器实验	255
8.6.3	Nand Flash 应用实验	258
8.6.4	makefile 实验	263
8.6.5	实验小结	265
8.7	嵌入式 Linux 网络编程	265
8.7.1	基础知识	265
8.7.2	程序实例	266
8.7.3	网络地址的表示	267
8.7.4	建立 socket	268
8.7.5	绑定本地地址	268
8.7.6	listen 函数	268
8.7.7	accept 函数	269
8.7.8	数据通信	269
8.7.9	小结	269
8.8	总结	270
	参考文献	271

第 1 章 嵌入式系统概述

1.1 嵌入式系统诞生的背景

首先来看一下嵌入式系统(Embedded System, ES)的诞生背景。其实嵌入式这个概念在很早以前就已经诞生了。而在通信领域,嵌入式系统在 20 世纪 60 年代就出现于控制电子机械电话交换中,在当时称为“存储式程序控制系统”(Stored Program Control)。

► 20 世纪 50 年代

这段时间第一代电子数字计算机诞生,之后的 20 年间,第一代电子数字计算机主要由电子管、晶体管等组成,具有体积大、价格贵、效率低的特点。因此当时的嵌入式系统并没有正式发展起来。

► 20 世纪 60 年代

这段时间微电子技术蓬勃发展起来,到 20 世纪 60 年代末,第三代计算机开始逐步进入人们的视野,这时的计算机已经采用集成电路化。尤其是在军事和航天航空科技方面,对计算机的需求非常迫切,因此这时计算机的软件和硬件也发展飞速,取得了很多重要的突破性成果,比如大规模集成电路、操作系统、流水线、秉性技术、高速通用寄存器、中断系统、先行控制、交叉存取、总线结构等。这段时间计算机的发展为之后嵌入式系统的崛起打下了非常好的基础。

► 20 世纪 70 年代

虽然嵌入式系统的概念很早就已经提出了,然而嵌入式系统的真正发展是在微处理器诞生之后。1971 年 11 月,Intel 公司成功地把算术运算器和控制器电路集成在一起,就此推出了世界上第一款微处理器 Intel 4004,之后各厂家陆陆续续推出了许多 8 位、16 位的微处理器,包括 Intel 8080/8085 和 8086, Motorola 的 6800 和 68 000,以及 Zilog 的 Z80、Z8000 等。以这些微处理器作为核心所构成的系统,广泛地应用于仪器仪表、医疗设备、机器人、家用电器等领域。微处理器的广泛应用为嵌入式应用创造了一个广阔的市场空间,各类计算机生产厂家也开始大量地以插件方式向用户提供 OEM 产品,再由用户根据自己的需要,选择一套适合自己的 CPU 板、存储器板以及各式 I/O 插件板,通过这种方法来构成自己独特的、专用的嵌入式系统,并将其嵌入到自己的系统设备中。

发展到一定阶段后,厂商开始考虑系统的灵活性和兼容性,由此出现了系列化、模块化的单板机。目前比较常见的单板计算机有 Intel 公司的 iSBC 系列、Zilog 公司的 MCB 等。再后来用户不必从最底层,即从选择芯片开始来设计一台自己专用的嵌入式计算机,相反只要通过选择各种功能模块,就能够比较简单地组建一台专用计算机系统。用户和开发人员都希望从不同的生产厂家选购最适合的 OEM 产品,以便插入外购或自制的机箱中就能形成新的系统,对兼容性的需求因此孕育而生了,从而导致了工业控制微机系统总线的诞

生。1976年 Intel 公司推出 MultiBus,1983年扩展为带宽达 40MB/s 的 MultiBus II。1978年由 Prolog 设计的简单 STD 总线广泛应用于小型嵌入式系统。

► 20 世纪 80 年代

这个年代各种总线不断被开发出来、各有各的特点与优势。同一时间,随着微电子科学技术的不断突破,集成电路制造商将嵌入式应用中用到的各种微处理器、A/D、D/A 转换、I/O 接口、串行接口以及 RAM、ROM 等部件全部集成到一个 VLSI 中,通过这种方法制造出面向 I/O 接口的微控制器,这也就是熟知的单片机,它也因此成为嵌入式计算机系统极其重要的一个分支。在单片机之后,DSP 产品高速发展,嵌入式计算机系统的技术有了大幅的提升,并因此很快进入医用电子、消费电子、仪器仪表、智能控制、交通运输、通信电子等各个领域。

► 20 世纪 90 年代

随着人们生活水平的不断发展,对柔性制造、分布控制、数字化通信和信息家电的需求不断上升,由此带来了嵌入式系统的又一次飞速发展,同时,DSP 产品还是专注于实时信号处理算法的研究,发展方向为高精、高速、低耗。Texas 推出的第三代 DSP 芯片 TMS320C30,引导着微控制器向 32 位高速智能化发展。在已经成型的产品链中,PDA、机顶盒和手持 PC 机技术比较成熟,因此发展比较迅速。值得一提的是掌上电脑,但就美国市场来看,1997 年市场上的 PDA 只有四到五个品牌,但到了 1998 年底,由于 PDA 技术的不断成熟,各种类型、各种品牌的掌上电脑一下子冒了出来,充斥着市场。例如,Nokia 推出了智能电话,西门子推出了机顶盒,Wyse 推出了智能终端,NS 推出了 WebPAD。现在流行的汽车上的小型电脑不仅可以控制着车内的各种设备,还可以连接 GPS,为我们提供导航服务,甚至自动操控汽车。

► 21 世纪

这无疑是一个网络的时代,因此把嵌入式系统应用到各种各样的专用网络和通用网络中去已经成为目前嵌入式系统一个非常重要的发展方向。现在非常关注所谓的信息家电,希望能通过远程遥控等让家里的电器智能地工作。当然还有电话上的革命——网络电话设备 IP 电话,它通过互联网的连接来实现双方普通的语音通话,但由于通过互联网连接,从而节省了话费,也许很快长途电话费会变得跟市内电话一样便宜、便捷。

1.2 嵌入式系统简介

1.2.1 嵌入式系统的定义

嵌入式系统是计算机技术、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结合后的更新换代产品。因此往往是技术密集、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。嵌入式系统把操作系统和功能软件都集成在计算机硬件系统之中,也就是把系统的应用软件与系统的硬件一体化,这是 BIOS 的工作方式,这样的工作方式有以下一些优点:代码小,高度自动化,响应速度快等,因此这样的系统特别适合于实时和多任务的要求。嵌入式系统与

平时使用的个人电脑上的应用系统差别很大,同时,按照不同的具体要求设计的嵌入式系统之间也存在很大不同。嵌入式系统的诉求是功能单一、容易实现、兼容性高,但同时要求体积小、成本低。

目前对于嵌入式系统有多种定义方法,其中有一些是从应用的角度定义的,有一些是从组成结构定义的,也有的是从其他方面进行定义的,下面是两种定义方法。

嵌入式系统是以应用为中心、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、功耗严格要求的专用计算机系统。

把基于处理器(通用处理器和嵌入式处理器)的设备称为计算机,把计算机分成两个部分,即通用计算机和嵌入式计算机。嵌入式系统也称为嵌入式计算机,因此嵌入式系统被定义为非通用计算机系统。这个定义是从计算机的分类方面进行的。

简单来说一个嵌入式系统就是硬件和软件集,包括硬件和软件两个部分。硬件主要包括微处理器、控制器、数字信号处理器(Digital Signal Processor, DSP)、存储器及外设器件、输入输出(I/O)端口、图形控制器等。软件主要包括操作系统(实时操作系统和嵌入式操作系统)以及应用程序(应用软件)。很容易理解,根据应用的领域不同,应用程序的特点和类型也千差万别。有时开发人员也会把这两种软件组合在一起:应用软件决定系统的运作和行为;而操作系统决定应用程序编程与硬件的交互如何顺利完成。此外,嵌入式系统有时还包括其他一些机械部分,如机电一体化装置、微机电系统等,这类机械设备当然也是根据系统特殊的要求设计和添加的,有时也称其为嵌入式设备,用以指代具有计算机功能,但又不称为计算机的设备或器材。

目前嵌入式系统几乎应用于所有电器设备:

- 个人数字助理(Personal Digital Assistant, PDA);
- 手机;
- 机顶盒;
- 汽车控制系统;
- 微波炉控制器;
- 电梯控制器;
- 安全系统;
- 自动售货机控制器;
- 医疗仪器;
- 立体音响;
- 自动取款机等。

即使是一台平时使用的通用计算机,也一定包括了嵌入式系统,同时它的外部设备也都包含了嵌入式微处理器的成分,如硬盘、软驱、显示器、键盘、鼠标、声卡、网卡及打印机等,这些都是通过嵌入式处理器来实现控制的。

嵌入式系统的设计理念是面向用户、面向产品、面向应用,如果只关注应用单独发展,则会失去市场空间和应用领域。所以,会发现一个有趣的现象,大多数嵌入式系统的开发者往往不是计算机专业的人才,而是各个行业的技术人员,以开发数字医疗设备为例,这些开发人员往往是生物医学工程技术人员,计算机专业的技术人员则辅助配合,一起参与完成开发工作。

显然,嵌入式系统的核心是嵌入式微处理器。由于嵌入式系统的应用特点,其本身就对体积、成本等问题有非常高的要求,因此嵌入式处理器的技术指标如功耗、体积、成本、可靠性、速度、处理能力、电磁兼容性等也同样受到应用要求的制约,因此,这一点是各个厂商之间竞争的热点。不过,虽然嵌入式微处理器是嵌入式系统的核心,但实现嵌入式系统功能的关键却是嵌入式处理器的应用软件。一般来说,嵌入式系统的软件要求以固化形式存储,因此有时被称为固件(Firmware),这类软件代码要求质量高、可靠性高,因此也可以理解大部分应用的系统操作系统(OS)的基本要求是高实时性。当然,对于普通的市场流通产品来说,非实时的操作系统如嵌入式 Linux 由于其开放性和丰富的资源也得到了广泛的应用。

嵌入式系统在以下这些领域起着非常重要的作用,如制造工业、通信、仪器、仪表、汽车、船舶、航空、军事装备、消费类产品等。此外,具体的嵌入式系统,如微波炉、洗衣机等,这些实例都属于智能家电。每天的生活离不开成千上万台家用智能设备的工作,我们似乎完全没有意识到嵌入式系统在其中起着举足轻重的作用。

显然,平时使用的家用电器与个人电脑是截然不同的两类系统。首先,虽然它们都由硬件和软件组成,但它们所完成的工作却大相径庭。一般来说,嵌入式系统只是一个大系统中的某个部分,其目的是控制大系统,使其更好地工作,因此嵌入式系统的价值在于它所控制的大系统,而一般不是内嵌的处理器器的性能指标。举个例子,我们往往通过洗净度、耗电、耗水、洗衣速度等衡量智能洗衣机的品质,而不会也不能以控制它的处理器的速度、存储容量、功耗等来衡量。相反,通用计算机的功能和价值体现在“计算”上,一般考察计算机的计算能力、存储数据的能力等,不管哪种计算机,我们都通过这些基本指标来评定它的品质。

通用计算机其实是由众多嵌入式系统构成的,其中键盘、鼠标等本身也是一个嵌入式系统,都包含了所需的处理器和对应的软件。

1.2.2 嵌入式系统的结构

如前所述,嵌入式系统的产品由软件和硬件组成,也就是芯片加软件成为产品,但同时需要开发工具辅助开发。嵌入式系统的硬件和软件对效率的要求很高,根据具体的要求,尽可能减少冗余,在同样的硅片面积上实现更高的性能才是嵌入式系统的最大目的,因此才能在具体应用中对处理器的选择面前更具有竞争力。

嵌入式系统一般由四部分组成:处理器、存储器、输入/输出设备和软件。

1.2.3 嵌入式系统的特点

嵌入式系统有以下几个特点。

► CPU 特殊设计

嵌入式系统基本上是根据用户的特殊要求设计的,因此它不具有普适性,且基本上都工作在特殊的系统当中。如 Motorola 的龙珠系列用于中档 PDA 中,ARM 系列多用于手机中,PowerPC 用于网络设备中等。决定嵌入式系统工作条件的决定性因素是外部接口的功能和处理速度,因此如前所述,嵌入式系统具有体积小、功耗低、兼容度高的特点。嵌入式系统的 CPU 把许多功能集成在芯片上,从而进一步缩小芯片体积,因此可靠性也大幅提升。

► 产业特性

嵌入式系统是计算机技术、半导体技术和电子技术与各个发展领域的具体技术开发应

用相结合而诞生的产品,因此它毫无疑问对技术、资金、创新的知识都要求极高。它是需要借助多方合力才能开发成功的产品,因此可以肯定地说,无论是嵌入式系统的开发还是嵌入式系统的各类应用,都很难形成垄断市场的局面。

➤ 小而精悍

嵌入式系统的硬件和软件对效率的要求很高,根据具体的要求,尽可能减少冗余,在同样的硅片面积上实现更高的性能才是嵌入式系统的最大目的,也因此才能在具体应用中对处理器的选择面前更具有竞争力。

➤ 软件特点

软件是嵌入式系统实现功能的关键所在,因此对于嵌入式处理器系统软件也有非常特殊的要求:

- 软件固化,提高芯片的可靠性和读取速度;
- 高质量、高可靠性的代码;
- 实时处理能力。

➤ 开发问题

嵌入式系统本身没有开发能力,用户不能对完成后的产品进行修改和保存,这限制了嵌入式系统更好的应用,因此必须配有合适的开发工具和平台,方便用户自行开发相关的功能。

前文中也提到,嵌入式系统的核心是嵌入式微处理器。为了更好地理解嵌入式系统的以上特点,再来了解一下嵌入式微处理器的一般特点:

➤ 响应能力强

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。

➤ 存储保护

存储区保护功能强,由于软件结构发展至今已模块化,因此为了避免在软件模块之间出现错误的交叉作用,必须有很强的存储区保护功能,以便于查错。

➤ 扩展性好

可扩展的处理器结构,能最迅速地扩展出满足应用的最高性能的嵌入式微处理器,例如 ARM7 TDM1 内核的处理器通过扩充外部接口,形成网络控制器、多媒体应用、移动电话应用等。

➤ 功耗低

这是由嵌入式系统的产品特性决定的,因此嵌入式微处理器功耗必须很低,尤其是用于便携式的通信设备功耗要更低。

再来说一下嵌入式操作系统(Embedded Operating System, EOS)开发平台。一般对于大系统来说,合理调配软件硬件资源,保持系统运行的可靠性。用户必须自行选配 EOS 开发平台,这样才能减少开发时间,保障程序运行顺利。

EOS 具有普通操作系统的基本功能,包括同步、中断、文件等,但这些还不足以满足嵌入式系统的要求,为了适应越来越精细化的嵌入式产品,EOS 需要具有以下特点:

- 可靠性高;
- 用户界面友好;
- 硬件适应能力强,移植性强;

- 占用硬件资源少;
- 强大的网络功能,支持多种协议。

常见的 EOS 有:

- Linux

在所有操作系统中, Linux 是发展最快、应用最广泛的操作系统。Linux 本身的种种特性使它成为嵌入式开发中的首选。根据 IDC 的报告, Linux 已成为全球第二大操作系统, 预计在服务器市场上, Linux 在未来几年内将以每年 25% 的速度增长, 中国的 Linux 市场更是保持 40% 左右的增长速度。免费的 Linux 为厂商节约了一大笔开支。

- μ C/OS

μ C/OS 是一个典型的实时操作系统, 它的特点为, 源代码公开、代码结构清晰、注释详尽、组织有条理、可移植性好、可裁剪、可固化、属于抢占式内核、最多可以管理 60 个任务。 μ C/OS 从 1992 年开始发展, 目前流行的是第 2 个版本, 即 μ C/OS-II。

- Windows CE

Windows CE 是微软的产品, 它从整体上为有限资源的平台设计的多线程、完整优先权、多任务的操作系统。Windows CE 采用模块化设计, 允许对从掌上电脑到专用的工控电子设备进行定制。Windows CE 具有以下特点, 灵活的电源管理功能、对象存储技术、良好的通信能力、支持嵌套中断、更好的线程响应能力等。

- VxWorks

VxWorks 是专门为实时嵌入式系统设计开发的操作系统软件, 为程序员提供了高效的实时任务调度、中断管理、实时的系统资源和实时的任务间通信。该系统主要应用在单板机、数据网络和通信等方面。

- Palm OS

Palm OS 是一种 32 位的嵌入式操作系统, 用于掌上电脑。Palm OS 以其简洁实用的功能在 PDA 历史上独占鳌头, 现在仍旧与 Windows Mobile 各占半壁江山。Palm OS 具有以下特点, 硬件携带方便、支持个人信息管理、应用程序资源丰富、PC 协同工作、有线和无线通信。

虽然嵌入式系统应用广泛, 种类繁多, 每个嵌入式系统之间的差别很大, 很容易让初学者感到一时有些无从下手, 因此似乎很难着手开发。不过要意识到, 虽然嵌入式系统应用的领域各不相同, 但是它们之所以都称为嵌入式系统就说明它们有很多共性。充分了解并掌握这些共性可以更好地认识各类系统, 从而找到嵌入式软件的开发方法, 不让某个领域的特殊知识阻挡开发的脚步。主要共性如下:

- 处理器

虽然嵌入式系统及嵌入式处理器的种类繁多, 相对应的指令集等都不相同, 但是处理器的特点是共通的, 如总线结构、文件管理、中断处理等。

- 结构

嵌入式处理器由通用处理器内核加上外部设备构成, 虽然外部设备种类繁多, 但同类外部设备的功能都大同小异, 不同种类的外部设备与不同种类的通用处理器才构成了不同种类的嵌入式处理器。

- 网络应用

从目前嵌入式系统的发展情况来看, 未来嵌入式系统在网络中的发展将会成为一个重