

21世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材

何先波 李薇 罗建 刘敏 编著

嵌入式系统软件 开发技术基础

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

何先波 李薇 罗建 刘敏 编著

嵌入式系统软件 开发技术基础

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书主要根据作者多年积累的嵌入式软件开发经验及长期从事研究生与本科生相关课程教学的讲义编写而成。内容的选取以满足当前市场对嵌入式软件开发人才提出的必备技术技能与知识结构为基本准则。本书第1章主要介绍嵌入式系统的基本概念;第2章主要介绍最常用的嵌入式微处理器——ARM的汇编级编程基础及环境;第3章主要介绍嵌入式操作系统的基本原理技术及在常用嵌入式操作系统中的实现与对比;第4~6章分别介绍基于嵌入式Linux、Windows CE及VxWorks嵌入式操作系统的软件开发环境及驱动程序与应用程序开发。教材内容组织的纵向脉络为:硬件→操作系统→嵌入式软件开发环境→驱动程序及应用程序开发,横向脉络为:嵌入式系统软件开发原理技术→三种主流嵌入式开发环境中的实现与应用。

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

嵌入式系统软件开发技术基础/何先波等编著. —北京:清华大学出版社,2011.5

(21世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材)

ISBN 978-7-302-23803-4

I. ①嵌… II. ①何… III. ①微处理器—系统开发 IV. ①TP332

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第173342号

责任编辑:魏江江 薛 阳

责任校对:李建庄

责任印制:何 芊

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, jsjje@tup.tsinghua.edu.cn

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

印 装 者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:32.5 字 数:807千字

版 次:2011年5月第1版 印 次:2011年5月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:45.00元

产品编号:035977-01

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,其培训也被列入国家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 and 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种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

嵌入式系统已广泛渗透到人们的工作和生活中,其应用领域包括家用电器、手持通信设备、信息终端、仪器仪表、汽车、航天航空、军事装备、制造工业、过程控制等。从 PDA、手机、机顶盒、汽车控制系统、微波炉控制器、自动售货机控制器到医疗仪器、立体音响、自动取款机等,嵌入式产品几乎无处不在。

伴随着嵌入式系统的广泛应用,嵌入式软件也迅速从硬件背后走向了前台。嵌入式软件行业的迅猛发展带来了对嵌入式软件开发人才的巨大需求,在高校中培养适销对路的嵌入式软件开发人才成为我国嵌入式软件行业的当务之急。

本书主要根据作者多年积累的嵌入式软件开发经验及长期从事研究生与本科生相关课程教学的讲义编写而成。内容的选取以满足当前市场对嵌入式软件开发人才提出的必备技术技能与知识结构为基本准则。本书第 1 章主要介绍嵌入式系统的基本概念;第 2 章主要介绍最常用的嵌入式微处理器——ARM 的汇编级编程基础及环境;第 3 章主要介绍嵌入式操作系统的基本原理技术及在常用嵌入式操作系统中的实现与对比;第 4~6 章分别介绍基于嵌入式 Linux、Windows CE 及 VxWorks 嵌入式操作系统的软件开发环境及驱动程序与应用程序开发。教材内容组织的纵向脉络为:硬件→操作系统→嵌入式软件开发环境→驱动程序及应用程序开发,横向脉络为:嵌入式系统软件开发原理技术→三种主流嵌入式开发环境中的实现与应用。

本书配有专门的实验教程,并提供电子教案及大量的案例程序源代码资源。

本书由西华师范大学嵌入式系统重点实验室何先波(第 1、3、4 章)、刘敏(第 2 章)、罗建(第 5 章)、李薇(第 6 章)编著。该实验室的徐宝磊、卢东海、李超、李孝杰等研究生参与了本书部分实例的调试和文字校阅工作。

编者

2011 年 2 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 嵌入式系统概述	1
1.1.1 嵌入式系统的定义	1
1.1.2 嵌入式系统的特点	1
1.1.3 嵌入式系统的组成	2
1.1.4 嵌入式系统的应用领域	4
1.1.5 嵌入式系统的发展	5
1.2 嵌入式处理器	6
1.2.1 嵌入式处理器的特点	6
1.2.2 嵌入式处理器的分类	7
1.2.3 ARM 及 ARM 处理器	8
1.3 嵌入式操作系统	9
1.3.1 嵌入式操作系统的特点	9
1.3.2 嵌入式操作系统的体系结构	10
1.3.3 嵌入式操作系统的历史与发展趋势	12
1.3.4 嵌入式 Linux 概述	14
1.3.5 VxWorks 概述	14
1.3.6 Windows CE 概述	15
1.4 嵌入式系统软件开发	15
1.4.1 嵌入式系统软件开发的特点	15
1.4.2 嵌入式系统软件开发工具	17
1.4.3 嵌入式系统软件的开发流程	17
1.4.4 嵌入式系统设备驱动程序开发概述	20
1.4.5 嵌入式系统软件的调试	21
1.5 思考与练习	24
第 2 章 ARM 处理器体系结构与开发工具	25
2.1 ARM 体系结构基础	25
2.1.1 ARM 体系结构概念	25
2.1.2 ARM 运行模式	27
2.1.3 ARM 寄存器组	28
2.1.4 ARM 指令架构	33
2.2 ARM 指令集概述	35

2.2.1	ARM 指令分类与格式	35
2.2.2	指令条件域	37
2.2.3	ARM 指令寻址方式	38
2.3	ARM 指令详解	39
2.3.1	数据处理指令	40
2.3.2	跳转指令	45
2.3.3	程序状态寄存器访问指令	47
2.3.4	加载/存储指令	47
2.3.5	协处理器指令	51
2.3.6	异常产生指令	53
2.3.7	伪指令	53
2.4	ADS 集成开发环境	56
2.4.1	ADS 简介	56
2.4.2	ADS 命令行开发工具	57
2.4.3	ADS 工程创建	59
2.4.4	AXD 调试器简介	62
2.5	嵌入式 ARM 汇编程序设计	63
2.5.1	汇编语言程序的生成	63
2.5.2	高级语言与汇编语言的混合编程	65
2.6	思考与练习	69
第 3 章	嵌入式操作系统	71
3.1	嵌入式操作系统基本概念	71
3.1.1	任务	71
3.1.2	互斥与同步	80
3.1.3	任务间通信	85
3.1.4	中断处理	90
3.1.5	死锁	92
3.1.6	定时器	94
3.2	嵌入式系统调度策略	96
3.2.1	嵌入式系统任务调度的特点与要求	98
3.2.2	嵌入式系统调度算法	98
3.2.3	嵌入式系统调度中的优先级反转问题	100
3.2.4	Windows CE 调度方案	101
3.2.5	嵌入式 Linux 调度方案	102
3.2.6	VxWorks 调度方案	103
3.3	嵌入式系统存储器管理	104
3.3.1	嵌入式系统存储器管理机制概述	104
3.3.2	Windows CE 存储器管理机制	104

3.3.3 嵌入式 Linux 存储器管理机制	107
3.3.4 VxWorks 存储器管理机制	108
3.4 嵌入式操作系统封装层	110
3.4.1 嵌入式操作系统封装层的意义	110
3.4.2 嵌入式操作系统封装层实施方案	110
3.5 思考与练习	119
第 4 章 基于 Linux 的嵌入式软件开发	120
4.1 嵌入式 Linux 软件开发环境	120
4.1.1 嵌入式 Linux 软件开发环境简介	120
4.1.2 嵌入式 Linux 软件开发环境的建立	120
4.1.3 Linux 系统目录组织	124
4.2 Linux 常用命令介绍	124
4.2.1 文件和目录操作命令	124
4.2.2 显示命令	128
4.2.3 diff 与 patch 命令	130
4.2.4 mount 与 umount 命令	130
4.2.5 用户账号管理	131
4.2.6 组账号管理	133
4.2.7 用户和组状态查询与临时切换	134
4.2.8 文件权限操作	135
4.2.9 进程管理操作	136
4.3 嵌入式 Linux 软件开发工具	137
4.3.1 vi 编辑器	137
4.3.2 GCC 编译器	139
4.3.3 GDB 调试器	140
4.3.4 ELF 目标文件格式	147
4.3.5 GNU 目标文件工具链	151
4.4 Linux Shell	160
4.4.1 Shell 简介	160
4.4.2 Shell 语法	161
4.4.3 Shell 编程举例	167
4.5 Linux 工程管理器 make	169
4.5.1 make 工具概述	169
4.5.2 Makefile 脚本文件语法规则	170
4.6 嵌入式 Linux 驱动程序开发	175
4.6.1 嵌入式 Linux 驱动程序机制综述	175
4.6.2 嵌入式 Linux 设备驱动中的关键数据结构	176
4.6.3 嵌入式 Linux 设备驱动开发中的基本接口函数	180

4.6.4	嵌入式 Linux 设备驱动程序开发举例	184
4.6.5	嵌入式 Linux 驱动程序的挂装与卸载	186
4.6.6	嵌入式 Linux 驱动程序的测试	187
4.7	嵌入式 Linux 应用程序开发	188
4.7.1	嵌入式 Linux 多线程应用程序开发	188
4.7.2	嵌入式 Linux 网络应用程序开发	190
4.8	嵌入式 Linux 软件的调试	195
4.8.1	嵌入式 Linux 调试连接通道的建立	195
4.8.2	嵌入式 Linux 内核级调试	196
4.8.3	嵌入式 Linux 用户级程序调试	197
4.9	思考与练习	197
第 5 章	基于 Windows CE 的嵌入式软件开发	198
5.1	Windows CE 6.0 软件开发环境	198
5.1.1	Windows CE 6.0 软件开发环境的建立	198
5.1.2	Windows CE 6.0 嵌入式软件开发流程	206
5.1.3	创建用户工程	208
5.2	Windows CE 6.0 开发工具	218
5.2.1	Visual Studio	218
5.2.2	eMbedded Visual C++	219
5.2.3	Platform Builder	220
5.2.4	模拟器	220
5.2.5	远程辅助开发工具	221
5.3	Windows CE 6.0 系统定制	222
5.3.1	BSP 的移植与导入	223
5.3.2	内核组件配置	226
5.3.3	内核映像的生成与下载	234
5.4	Windows CE 6.0 驱动程序设计	242
5.4.1	Windows CE 6.0 驱动程序机制概述	242
5.4.2	Windows CE 6.0 设备管理器	244
5.4.3	Windows CE 6.0 流接口驱动开发	245
5.5	Windows CE 6.0 应用程序开发	259
5.5.1	Windows CE 6.0 应用程序开发流程	260
5.5.2	Windows CE 6.0 应用编程接口	274
5.5.3	应用程序开发举例	278
5.6	Windows CE 调试	291
5.6.1	Windows CE 程序调试手段	291
5.6.2	调试连接通道的建立	297
5.6.3	内核级调试	297

5.6.4 应用程序调试	299
5.7 思考与练习	300
第6章 基于 VxWorks 的嵌入式软件开发	301
6.1 VxWorks 软件开发环境	301
6.1.1 Tornado 开发环境介绍	301
6.1.2 VxWorks 软件开发流程	319
6.1.3 创建用户工程	321
6.2 Tornado 软件开发工具	335
6.2.1 交叉调试器(CrossWind Debugger)	336
6.2.2 目标机系统状态浏览器(Browser)	337
6.2.3 命令行执行工具(WindSh)	338
6.2.4 软件逻辑分析仪(WindView)	339
6.2.5 集成仿真器(VxSim)	340
6.2.6 目标机服务器(Target Server)	341
6.3 VxWorks 内核定制	344
6.3.1 VxWorks BSP 的移植	344
6.3.2 内核组件配置	360
6.3.3 内核映像的生成与下载	365
6.4 VxWorks 驱动程序开发	378
6.4.1 VxWorks 驱动程序开发综述	378
6.4.2 VxWorks 驱动程序的相关数据结构	384
6.4.3 VxWorks 驱动程序的常用函数	404
6.4.4 VxWorks 驱动程序编写举例	424
6.5 VxWorks 应用程序开发	465
6.5.1 应用程序开发流程	465
6.5.2 VxWorks 应用编程接口	473
6.5.3 应用程序开发	480
6.6 VxWorks 调试	498
6.6.1 调试连接通道的建立	498
6.6.2 VxWorks 系统级调试模式	499
6.6.3 VxWorks 任务级调试模式	500
6.7 思考与练习	501
参考文献	502

第1章 绪 论

1.1 嵌入式系统概述

1.1.1 嵌入式系统的定义

嵌入式系统是指以应用为中心,以计算机技术为基础,软硬件可裁剪,满足实际应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗等严格要求的专用计算机系统,其中起智能控制作用的计算机称为嵌入式计算机或嵌入式控制器。嵌入表示被嵌入的计算机系统通常是一个大系统或大的电子设备中的一部分。嵌入式系统已广泛渗透到人们的工作与生活中,其应用领域包括家用电器、手持通信设备、信息终端、仪器仪表、汽车电子、航空航天、军事装备、制造业、过程控制等。从 PDA(Personal Digital Assistant,个人数字助理)、手机、机顶盒、汽车控制系统、微波炉控制器、安全系统到自动售货机控制器、医疗仪器、立体音响、自动取款机等,嵌入式产品几乎无处不在。

1.1.2 嵌入式系统的特点

与通用计算机系统相比,嵌入式系统通常具有如下特点。

1. 嵌入性

由于嵌入式系统一般为特定应用系统的一个组成部分,故必须满足被嵌入对象对环境性能的要求。因此,嵌入式系统大多具有低功耗、小体积与高集成度的特点。

2. 专用性

一个嵌入式系统通常是面向特定应用系统的,具有专有的功能和用途。为了与其对应的功能相适应,嵌入式系统的软、硬件也往往具有高度定制的特点。

3. 资源约束性

由于绝大多数面向市场的嵌入式产品都具有成本敏感性、低功耗和小体积的特点。因此,在满足功能的前提下,对处理器性能、存储器大小及外围设备种类等资源往往采用“够用”即可的策略。在此类嵌入式产品的软、硬件设计时往往遵循量体裁衣、去除冗余的原则,做到尽可能的专用紧凑、高效精简。另一方面,对诸如军工、航天类有高可靠性、高实时性要求的系统及一些在恶劣环境下工作的产品则需对其软硬件设计做特殊的考虑。

4. 实时性

绝大多数嵌入式系统都有实时性要求,因此,嵌入式系统也可认为是一种实时系统。所谓实时,是指能够在确定和限定的时间内执行其功能并对外部的异步事件做出及时的响应。Donald Gillies 对实时系统给出的定义为:实时系统是指计算的正确性不仅取决于结果逻辑的正确性,更取决于结果产生的时间。嵌入式实时系统中,任务的开始或完成往往有一定的时间约束,该时间约束称为截止期限或死线。按照满足截止期限要求的程度不同,嵌入式

实时系统可分为嵌入式硬实时系统和嵌入式软实时系统。在嵌入式硬实时系统中,任务错过截止时间可能会造成严重或致命的后果,如航空航天、军事、核工业等关键领域中的嵌入式应用系统。嵌入式软实时系统是指系统中的任务可以不满足截止时间,但错过截止时间会在一定程度上造成系统性能的下降或任务结果意义的递减,包括消费电子在内的大多数嵌入式产品都可归类为嵌入式软实时系统。

5. 可靠性和安全性

由于嵌入式系统通常与具体应用系统有机结合在一起,其升级换代也是与具体产品同步进行的,因此嵌入式产品一旦进入市场,就要求具有较长的生命周期。故嵌入式产品往往要求具有长时间连续运行和错误自修复的功能。同时,在一些无人值守(如航空航天类嵌入式产品)或恶劣环境中使用的嵌入式产品对系统的健壮性提出了更高的要求。在这些嵌入式系统中,冗余备份和看门狗机制成为实现可靠性与健壮性的重要手段。

另外,随着嵌入式产品的网络化,如何保障嵌入式产品的信息安全也成为日益突出的问题。

6. 市场与技术的不可垄断性

与通用个人计算机的 Wintel(Microsoft 公司和 Intel 公司于 20 世纪 90 年代初建立的联盟)高度的技术和市场垄断不同,嵌入式系统应用领域的广泛性和需求的多样性决定了其技术实现的多样性和市场的分散性与异质性。从目前的各种嵌入式产品市场来看,没有任何一个系列的嵌入式处理器和嵌入式操作系统能够垄断全部市场。同时,随着嵌入式系统应用的不断发展,对嵌入式系统软、硬件的要求也在不断变化,这些发展与需求变化成为推动嵌入式工业发展的强大动力。

1.1.3 嵌入式系统的组成

嵌入式系统一般由嵌入式微处理器、存储器、外围硬件设备、嵌入式操作系统及用户应用程序组成。图 1-1 展示了一个典型的嵌入式系统的组成层次结构。

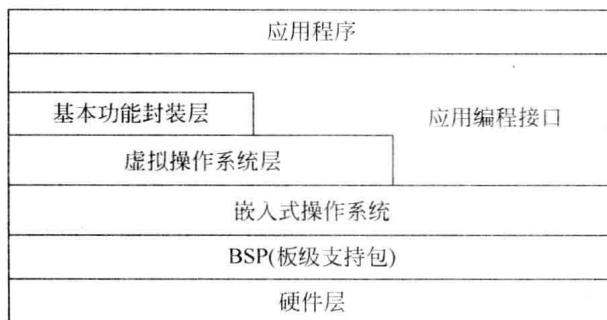


图 1-1 嵌入式系统的组成层次结构

1. 硬件层

嵌入式系统的嵌入性和专用性决定了嵌入式系统硬件的多样性和高度集成性。嵌入式系统的输入设备主要有传感器、触摸屏、小键盘和语音识别器等,也可能是另一个嵌入式系统的输出;输出设备主要包括 LCD、LED 显示屏及各种声、光、电模拟控制信号;嵌入式处理器包括多种品牌与型号的 ARM、Power PC、MIPS、FPGA,同时,一些嵌入式处理器往往对安全性与耐高温性有较高的要求,以便适合工作于恶劣或无人值守的工作环境;嵌入式

系统存储器除了使用 RAM 以外,闪存(Flash Memory)的大量使用也是其显著特点,辅助存储器通常使用各种体积较小的 SD 卡、SIM 卡等;嵌入式硬件系统通常具有丰富的外部接口,如 A/D 与 D/A 转换器、CAN 总线接口、Watchdog 线路等。图 1-2 为本书运用的实验平台 PXA 270 嵌入式开发板的硬件模块图。

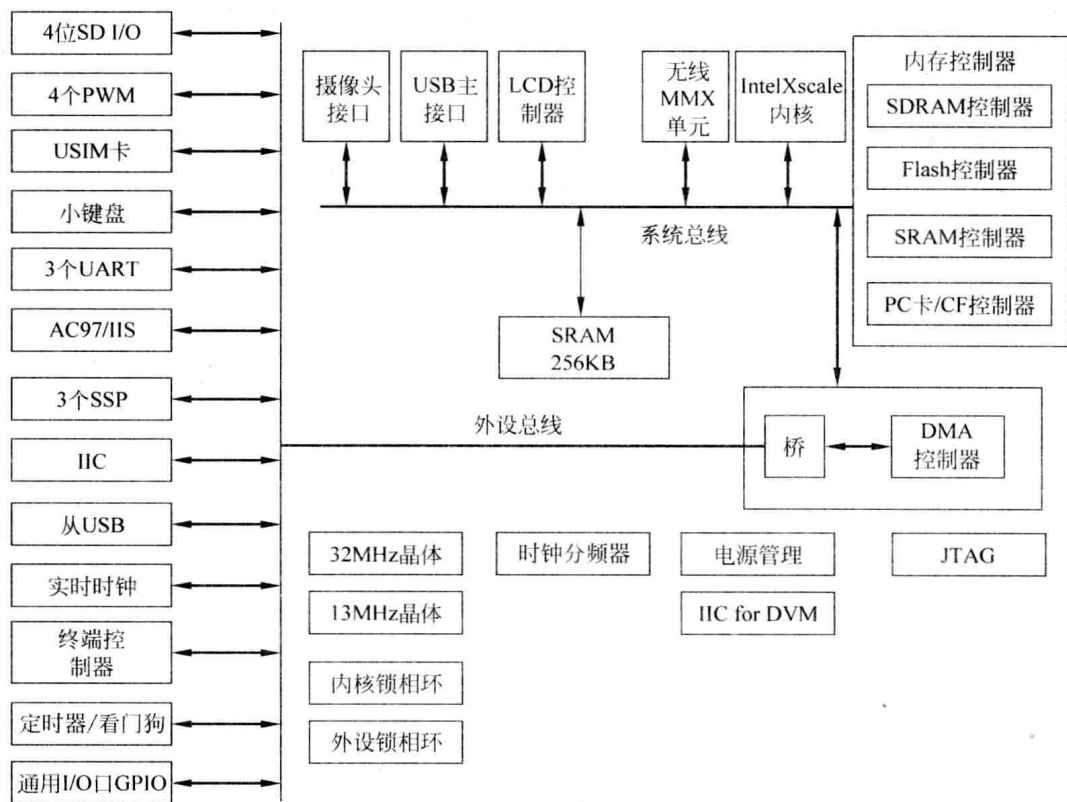


图 1-2 PXA 270 嵌入式开发板模块图

2. 板级支持包(Board Support Packet, BSP)

板级支持包位于嵌入式硬件层与嵌入式操作系统层之间,主要为上层提供一个屏蔽底层硬件操作的接口,从而提高整个嵌入式系统软件的可移植性。该层主要实现两部分功能:

- (1) 实现包括嵌入式处理器在内的嵌入式硬件各部分的初始化。
- (2) 提供各种嵌入式外设的驱动管理。

与通用计算机系统不同,通用计算机中,该层通常由操作系统或设备厂家提供,而在嵌入式系统中,嵌入式外设的多样性与专用性决定了该层软件也需要嵌入式开发人员参与完成,该部分也是嵌入式系统软件开发的重点和难点之一。

3. 嵌入式操作系统

与通用操作系统相比,稳定性、模块化、实时性和可定制性是嵌入式操作系统的特点。另一方面,与通用操作系统的市场主要由 Windows 与 UNIX/Linux 垄断不同,嵌入式操作系统则呈现“百花齐放”的格局。当前嵌入式软件开发使用的嵌入式操作系统主要有 VxWorks、Windows CE、嵌入式 Linux、Palm OS、pSOS、Symbian、Qnx、 μ C/OS、eCos 等,一些大型的嵌入式设备开发公司甚至使用自己开发的嵌入式操作系统。

4. 虚拟操作系统层

与操作系统为了隔离具体的硬件环境而设计出硬件抽象层类似,一些大型的嵌入式系统设备公司还提出了虚拟操作系统层的概念。虚拟操作系统层用于实现屏蔽底层不同嵌入式操作系统之间的接口差异,从而为上层提供一致的系统功能调用接口。由于应用程序对具体的嵌入式操作系统的依赖减少,从而增强了上层应用软件在不同嵌入式操作系统之间的可移植性。

5. 基本功能封装层

该层可看做嵌入式操作系统功能面向特定应用领域软件开发的延伸。该层通常是由一些大型的嵌入式系统设备公司把自己产品领域的普适性功能模块或独特的解决方案统一集成而形成的。由于这些模块与解决方案是经过充分测试验证的,可大大提高基于该层开发的嵌入式软件模块的可重用性与稳定性。

6. 应用编程接口

该部分由为嵌入式系统应用程序提供的各种编程接口库或功能模块组件组成,可针对不同应用领域、不同安全要求进行定制构建。应用程序借助该层访问操作系统或使用封装层提供的各种服务与功能,从而减轻嵌入式软件开发者的负担。

7. 应用程序

应用程序层,也称为应用软件层,该层负责嵌入式系统功能和业务逻辑的实现。从功能上看,应用程序之下的各层均是为最终的应用程序服务的,应用程序使用下层提供的编程接口或调用模块来实现复杂的嵌入式应用功能。

1.1.4 嵌入式系统的应用领域

嵌入式技术与嵌入式系统近年来得到迅猛的发展,下面简单介绍一些常见的嵌入式技术应用领域与嵌入式产品。

1. 消费类电子

消费类电子产品主要包括:

(1) 个人型/移动型产品,如 PDA、电子书等,该类产品与移动通信网络相结合的趋势日益明显。

(2) 家庭式/娱乐式/视听式产品,如网络电视、各种音频、视频播放器。

(3) 电子娱乐设备,如各种游戏机、智能玩具狗等。

(4) 数字式影像设备,如数码相机及数字摄像机等。

2. 移动通信终端设备与移动行业应用

以手机为代表的移动通信终端设备及其在各种特定行业中的应用成为近年来发展最为迅猛的嵌入式应用领域。一方面,以手机为代表的移动通信终端的使用越来越普及;另一方面,移动通信终端的功能也越来越强大。特别是随着 3G、4G 移动网络的全面铺设,使用手机看电视、网上冲浪、视频聊天等功能正逐渐成为常用功能。另外,以手机为代表的移动终端与移动网络正快速地向各行各业渗透,催生了各种各样的行业应用,如移动办公、移动巡检、移动警务、车辆导航等。

3. 军工航天

该领域既是嵌入式系统应用最早的领域之一,同时也是最先进、最前沿的嵌入式技术的

孵化器和实践应用领域。如 NASA 的火星探测器便是军工航天领域嵌入式系统应用最典型的例子。

4. 工业控制

嵌入式系统在工业自动化控制方面有着广泛的应用,其中包括:

(1) 工厂流水线控制、机械加工中心、电气设备等工业过程控制。

(2) 电力系统中的电能质量分析、电网安全、电力设备监测等。

(3) 石油化工系统中的勘探、冶炼、管网监测等。可以说,工业控制是嵌入式系统发展的最早推动者,也必将是未来嵌入式系统应用的重要领域。

5. 机器人

机器人可以说是 20 世纪人类最伟大的发明之一,也是人工智能和嵌入式技术的有机结合体。具有感知、决策和交互能力的各种智能机器人,由于对不同任务和特殊环境的适应性较强,发挥出其越来越不可替代的作用,展现了其广阔的应用前景,也必将嵌入式技术的应用水平推向新的高度。

6. 汽车电子

汽车电子产业作为下一个经济增长点,是嵌入式系统应用的又一典型领域。一部高档小汽车中甚至包含数十个嵌入式处理器,通过现场总线来控制汽车的各个部件。如汽车中的仪表盘、电动车窗、GPS(Global Positioning System,全球定位系统)、语音电子导航系统、电子喷射装置、防抱死制动系统、排放控制和遇险报警系统等都有嵌入式系统的身影。

7. 电子商务

该领域的产品包括公共交通无接触智能卡发行系统、公共电话卡发行系统、税控收款机、自动售货机和各种智能 ATM(Automatic Teller Machine,自动取款机)终端等。

8. 楼宇自动化

该领域的产品包括水、电、煤气表的远程自动抄表系统、门禁系统和社区的智能防盗网络系统等。

9. 国土资源监测与管理

该领域的应用包括水文资料的实时监测系统、防洪体系及水土质量监测系统、堤坝安全、地震监测、水源和空气污染监测系统等。在很多环境恶劣、地况复杂的地区,嵌入式系统可有效地实现无人监测。

10. 智能仪器

该领域的嵌入式产品包括网络分析仪、混合信号示波器和医疗仪器等。

1.1.5 嵌入式系统的发展

通用计算机与嵌入式系统的专业化分工促进了嵌入式产业的诞生与发展,嵌入式系统从出现至今已有 40 多年的历史,其发展历程大致可分如下 4 个阶段。

1. 嵌入式系统的萌芽阶段(嵌入式系统诞生至 20 世纪 70 年代初)

该阶段以单片机为硬件特征,大多以可编程控制器的形式出现,具有监测、伺服、与指示设备相配合的功能。该阶段嵌入式软件逻辑功能简单,没有嵌入式操作系统,一般通过汇编语言直接进行编程控制。该阶段的嵌入式系统一般用于专业性较强的工业控制与军工产品中。

2. 简单的专用嵌入式操作系统阶段(20 世纪 70 年代至 20 世纪 80 年代)

该阶段出现了大量高可靠、低功耗但通用性差的嵌入式微处理器。各种内核精巧、性能高效的简单嵌入式操作系统也开始出现。该阶段的嵌入式系统较广泛地用于各种家电、医疗设备、仪器仪表及通信设备中。

3. 通用嵌入式操作系统阶段(20 世纪 80 年代末至 20 世纪 90 年代)

该阶段,嵌入式软硬件技术均加速发展。以实时信号处理器(Digital Signal Processor, DSP)为代表的各种嵌入式处理器继续向着高度集成、多功能、高性能、低功耗的方向发展。随着应用领域的不断扩大,嵌入式软件的规模也越来越大。嵌入式操作系统的实时性能得到很大改善,能运行在各种不同的嵌入式处理器上,嵌入操作系统也越来越向通用操作系统靠齐。嵌入式操作系统及集成开发环境的完善大大简化了应用程序的开发。该阶段的嵌入式系统已广泛用于数字化通信、信息家电、汽车电子等应用领域。

4. 网络化阶段(20 世纪 90 年代末至今)

在该阶段内新的高性能微处理器不断涌现,许多嵌入式处理器已内嵌网络接口,除了支持 TCP/IP 协议,有的还支持 IEEE 1394、USB、CAN、Bluetooth 或 IrDA 通信接口协议中的一种或者多种。嵌入式操作系统的可移植性大大增强,通信组网协议模块和物理层驱动软件成为其重要的组成部分。信息家电、工业控制、军工航天等嵌入式系统与 Internet 技术的结合日益密切。许多通用计算机上使用的新技术如移动代理、CORBA 等逐步移植到了嵌入式软件系统中。与通用的大型软件开发类似,工程化的软件开发思想已广泛应用到嵌入式软件的开发过程中。

总的来说,嵌入式系统的整体发展趋势为微型化、功耗小、成本低、智能化、网络化及更友好的人机界面。

1.2 嵌入式处理器

1.2.1 嵌入式处理器的特点

嵌入式处理器是嵌入式硬件系统的核心,与通用处理器相比,具有如下一些特点。

1. 处理器种类的多样性与专用性

与通用处理器领域中 Intel 芯片占市场绝对主流的情况不同,嵌入式处理器基本呈现“百花齐放”的格局。据统计,全世界嵌入式处理器已超过 1000 多种,流行的体系结构也有 30 多个系列,一些大型的嵌入式设备公司甚至根据其产品特点自主设计专用的嵌入式处理器。从单片机、DSP 到 FPGA(Field Programmable Gate Array,现场可编程门阵列),嵌入式处理器的品种越来越多、处理速度越来越快、性能越来越高、价格越来越低。同时,出于成本的考虑,各种档次的嵌入式处理器仍会长期存在。

2. 集成度高

用于通用计算机的处理器芯片内部通常只包括 CPU、cache、MMU(Memory Management Unit,内存管理单元)和总线接口,而嵌入式处理器根据具体应用领域的需求可能还会集成各种其他外部设备和接口,如中断控制器、DMA 控制器、协处理器、A/D 和