



中国高等职业技术教育研究会推荐
高职高专计算机专业规划教材

嵌入式软件开发

张 京 主编
李成大 主审

11

9



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

TP311/209

□ 中国高等职业技术教育研究会推荐

高职高专计算机专业规划教材

嵌入式软件开发

张 京 主编

张 京 张 敏 颜俊华 编著

李成大 主审

西安电子科技大学出版社

2008

内 容 简 介

本书系统地介绍了嵌入式系统的软件开发方法。全书分为 8 章, 首先讲述了嵌入式系统的概况和应用领域, 各种典型的嵌入式处理器, 嵌入式操作系统的种类及选用等; 然后以嵌入式 Linux 和市场占有率排名第一的 VxWorks 操作系统为例, 详细讲解嵌入式操作系统的组成、多任务环境的工作原理及其交叉开发环境的使用, 以及嵌入式实时系统软件设计的几个核心问题和嵌入式系统的一般设计开发流程; 最后给出了开发嵌入式系统的相关实训。

本书可作为高职、专科院校计算机类、电子类、信息类专业高年级学生的教材, 也可作为一些进修班的培训教材, 同时亦可作为企业各类嵌入式产品开发人员、嵌入式技术爱好者的学习参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式软件开发 / 张京主编. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2008.8

中国高等职业技术教育研究会推荐. 高职高专计算机专业规划教材

ISBN 978-7-5606-2065-7

I. 嵌… II. 张… III. 软件开发—高等学校: 技术学校—教材 IV. TP311.52

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 082048 号

策 划 杨 璠

责任编辑 杨 璠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 16.5

字 数 385 千字

印 数 1~4000 册

定 价 23.00 元

ISBN 978-7-5606-2065-7/TP · 1066

XDUP 2357001-1

如有印装问题可调换

本社图书封面为激光防伪覆膜, 谨防盗版。

序

进入 21 世纪以来,高等职业教育呈现出快速发展的形势。高等职业教育的发展,丰富了高等教育的体系结构,突出了高等职业教育的类型特色,顺应了人民群众接受高等教育的强烈需求,为现代化建设培养了大量高素质技能型专门人才,对高等教育大众化作出了重要贡献。目前,高等职业教育在我国社会主义现代化建设事业中发挥着越来越重要的作用。

教育部 2006 年下发了《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》,其中提出了深化教育教学改革,重视内涵建设,促进“工学结合”人才培养模式改革,推进整体办学水平提升,形成结构合理、功能完善、质量优良、特色鲜明的高等职业教育体系的任务要求。

根据新的发展要求,高等职业院校积极与行业企业合作开发课程,根据技术领域和职业岗位群任职要求,参照相关职业资格标准,改革课程体系和教学内容,建立突出职业能力培养的课程标准,规范课程教学的基本要求,提高课程教学质量,不断更新教学内容,而实施具有工学结合特色的教材建设是推进高等职业教育改革发展的重要任务。

为配合教育部实施质量工程,解决当前高职高专精品教材不足的问题,西安电子科技大学出版社与中国高等职业技术教育研究会在前三轮联合策划、组织编写“计算机、通信电子、机电及汽车类专业”系列高职高专教材共 160 余种的基础上,又联合策划、组织编写了新一轮“计算机、通信、电子类”专业系列高职高专教材共 120 余种。这些教材的选题是在全国范围内近 30 所高职高专院校中,对教学计划和课程设置进行充分调研的基础上策划产生的。教材的编写采取在教育部精品专业或示范性专业的高职高专院校中公开招标的形式,以吸收尽可能多的优秀作者参与投标和编写。在此基础上,召开系列教材专家编委会,评审教材编写大纲,并对中标大纲提出修改、完善意见,确定主编、主审人选。该系列教材以满足职业岗位需求为目标,以培养学生的应用技能为着力点,在教材的编写中结合任务驱动、项目导向的教学方式,力求在新颖性、实用性、可读性三个方面有所突破,体现高职高专教材的特点。已出版的第一轮教材共 36 种,2001 年全部出齐,从使用情况看,比较适合高等职业院校的需要,普遍受到各学校的欢迎,一再重印,其中《互联网实用技术与网页制作》在短短两年多的时间里先后重印 6 次,并获教育部 2002 年普通高校优秀教材奖。第二轮教材共 60 余种,在 2004 年已全部出齐,有的教材出版一年多的时间里就重印 4 次,反映了市场对优秀专业教材的需求。前两轮教材中有十几种入选国家“十一五”规划教材。第三轮教材 2007 年 8 月之前全部出齐。本轮教材预计 2008 年全部出齐,相信也会成为系列精品教材。

教材建设是高职高专院校教学基本建设的一项重要工作。多年来,高职高专院校十分重视教材建设,组织教师参加教材编写,为高职高专教材从无到有,从有到优、到特而辛勤工作。但高职高专教材的建设起步时间不长,还需要与行业企业合作,通过共同努力,出版一大批符合培养高素质技能型专门人才要求的特色教材。

我们殷切希望广大从事高职高专教育的教师,面向市场,服务需求,为形成具有中国特色和高职教育特点的高职高专教材体系作出积极的贡献。

中国高等职业技术教育研究会会长
2007 年 6 月



高职高专计算机专业规划教材

编审专家委员会

- 主任:** 温希东 (深圳职业技术学院副校长, 教授)
- 副主任:** 徐人凤 (深圳职业技术学院电子与通信工程学院副院长, 高工)
刘中原 (上海第二工业大学计算机与信息学院副院长, 副教授)
李卓玲 (沈阳工程学院信息工程系主任, 教授)
- 委员:** (按姓氏笔画排列)
- 丁桂芝 (天津职业大学电子信息工程学院院长, 教授)
马宏锋 (兰州工业高等专科学校计算机工程系副主任, 副教授)
王 军 (武汉交通职业学院信息系副主任, 副教授)
王 雷 (浙江机电职业技术学院计算机应用工程系主任, 高工)
王养森 (南京信息职业技术学院计算机科学与技术系主任, 高工)
王趾成 (石家庄职业技术学院计算机系主任, 高工)
汤 勇 (成都职业技术学院国际软件学院副院长, 副教授)
朱小平 (广东科学技术职业学院计算机学院副院长, 副教授)
齐志儒 (东北大学东软信息学院计算机系主任, 教授)
孙街亭 (安徽职业技术学院教务处处长, 副教授)
张 军 (石家庄职业技术学院计算机系, 高工)
李成大 (成都电子机械高等专科学校计算机工程系副主任, 副教授)
苏传芳 (安徽电子信息职业技术学院计算机科学系主任, 副教授)
苏国辉 (黎明职业大学计算机系副主任, 讲师)
汪临伟 (九江职业技术学院电气工程系主任, 副教授)
汪清明 (广东轻工职业技术学院计算机系副主任, 副教授)
杨文元 (漳州职业技术学院计算机工程系副主任, 副教授)
杨志茹 (株洲职业技术学院信息工程系副主任, 副教授)
胡昌杰 (湖北职业技术学院计算机科学与技术系副主任, 副教授)
聂 明 (南京信息职业技术学院软件学院院长, 副教授)
章忠宪 (漳州职业技术学院计算机工程系主任, 副教授)
睦碧霞 (常州信息职业技术学院软件学院院长, 副教授)
董 武 (安徽职业技术学院电气工程系副主任, 副教授)
蒋方纯 (深圳信息职业技术学院软件工程系主任, 副教授)
鲍有文 (北京联合大学信息学院副院长, 教授)

前 言

进入 21 世纪后, 计算机技术发展的一个重要方面就是嵌入式计算机系统的迅速发展。当今嵌入式计算机无处不在的发展趋势, 展示了人类社会生活、生产活动高度自动化的美妙前景。嵌入式计算机的广泛应用是后 PC 信息时代的重要特征, 嵌入式计算随时可能引发创新灵感, 而千姿百态的嵌入式产品概念的实现必须有开发技术的支持。因此, 嵌入式系统和嵌入技术成为了计算机工业中最具活力的部分。在这样的形势下, 各本科院校纷纷开设了嵌入式系统的课程。为了改变嵌入式技术在高职高专教育中滞后的局面, 特面向高职高专学校编写了这本嵌入式系统软件开发的入门教材。

全书主要内容和章节安排如下:

全书分为 8 章。第 1 章介绍嵌入式系统的定义、分类、特点、组成、发展概况、应用领域等; 第 2 章讲解嵌入式处理器的基本特征、分类和选择以及各种典型的嵌入式处理器; 第 3 章介绍嵌入式操作系统的种类及选用; 第 4、5 章以嵌入式 Linux 和市场占有率排名第一的 VxWorks 操作系统为例, 详细讲解嵌入式操作系统的组成、多任务环境的工作原理及其交叉开发环境的使用; 第 6 章对嵌入式实时系统软件设计的几个核心问题作了说明; 第 7 章介绍嵌入式系统的一般设计和开发流程; 第 8 章安排了 14 个嵌入式系统的相关实训内容。

相对于其他嵌入式系统方面的书籍资料, 本书具有如下特点:

1. 面向高职、专科层次

大多数嵌入式开发方面的书籍都是面向本科高年级和研究生的, 面向高职和专科层次的书可谓凤毛麟角。高职和专科院校相关专业的学生学习嵌入式软件开发, 要想找到一本合适的教材, 确实比较困难, 对于嵌入式开发的普及不能不说是一大缺憾。本书的出版, 将弥补这一缺憾。

2. 读者容易看懂, 能快速上手实践

本书在内容的先后次序与组织形式、知识点安排等方面进行了细致的设计。先进行概要的介绍, 再从大家熟悉的 Linux 入手, 过渡到嵌入式 μ Clinux, 再以市场占有率排名第一的 VxWorks 操作系统为例, 将实例设计成最能体现基本知识点的形式, 使读者尽快入门。

3. 着重于嵌入式软件开发, 提供大量实例

在第 4、5、6 章中列举了大量实例, 包括应用实例和代码实例, 结合 C 源代码实例进行讲解。所有源代码实例均进行了多次验证, 可以在仿真机和真实目标机上调试运行。

4. 理论与实践相结合

在本书的最后部分结合课程的相关章节内容安排了 14 个实训内容, 让读者有充分的实践机会, 希望能引导读者迅速掌握嵌入式软件开发的基本理论和方法。

5. 便于教学与实验

本书给出的实训项目,既可在PC上的仿真器环境下进行,也可在各类嵌入式硬件实验箱或开发板上进行,因此无论是否有嵌入式硬件实验箱或开发板,均可进行相应的实验。每章后面都有精选的习题,以利读者巩固相关知识点。本书选用的实时操作系统也很容易得到:嵌入式Linux是完全免费的资源,可直接从网上下载;另一个实时操作系统VxWorks的集成开发环境Tornado的评估版也可从Windriver公司网站注册后免费下载。

教学建议:

对于高职、专科学校,建议采用64学时(40学时课堂教学+24学时实验),分三个阶段进行教学。第1、2、3章为第一阶段,学习嵌入式系统软件开发入门所需的基础知识,第一阶段占总课时数的20%。第4、5、8章为第二阶段,分别学习基于嵌入式Linux下的软件开发和基于VxWorks的嵌入式软件开发方法,课堂教学与实验同步进行,一般情况下,第二阶段占总课时数的60%~70%。第6、7章为第三阶段,这是相对较深的内容,教师可根据情况进行取舍,布置具体设计实践,第三阶段占总课时数的10%~20%。

本书由张京任主编。第1、2、3、8章由张京编写,第4、5章由张敏编写,第6、7章由颜俊华编写。

李成大教授仔细审阅了本书,并提出了非常宝贵的意见,特此表示深深的谢意。同时也对为本书出版工作付出辛勤劳动的杨璠编辑表示诚挚的感谢。

本书在编写过程中参考了不少相关资料文献,均附于参考文献中。引用的文字和图表均为本书内容阐述所需要,无侵权意图,特此申明。在此对引用的这些文献资料的作者或编者深表感谢。

本书的编写过程中虽力求精益求精,但由于编者水平和时间有限,难免有疏漏,有关专家赐教和读者批评指正。

2008年3月

目 录

第 1 章 嵌入式系统概述1	
1.1 嵌入式系统的定义.....1	
1.2 嵌入式系统的分类.....2	
1.3 嵌入式系统的特点.....3	
1.4 嵌入式系统的组成.....4	
1.5 嵌入式系统的应用领域.....4	
1.6 嵌入式系统的发展.....5	
1.6.1 嵌入式系统的发展史.....5	
1.6.2 嵌入式应用软件面临的挑战.....6	
1.7 本章小结.....7	
习题.....7	
第 2 章 嵌入式硬件系统基础8	
2.1 嵌入式处理器的基本特征.....8	
2.2 嵌入式处理器的分类.....8	
2.2.1 嵌入式微处理器.....9	
2.2.2 嵌入式微控制器.....9	
2.2.3 嵌入式 DSP 处理器.....10	
2.2.4 嵌入式片上系统.....10	
2.3 典型嵌入式处理器.....11	
2.3.1 8051 系列单片机.....11	
2.3.2 68K/ColdFire 系列.....12	
2.3.3 PowerPC 系列.....12	
2.3.4 ARM 系列.....13	
2.3.5 X86 系列.....14	
2.3.6 MIPS.....14	
2.4 嵌入式处理器的选择.....15	
2.5 嵌入式处理器的发展趋势.....15	
2.6 本章小结.....16	
习题.....17	
第 3 章 嵌入式操作系统18	
3.1 嵌入式操作系统的发展.....18	
3.1.1 嵌入式操作系统的历史.....18	
3.1.2 嵌入式操作系统的发展趋势.....19	
3.2 嵌入式操作系统的分类.....19	
3.3 嵌入式实时系统.....21	
3.3.1 嵌入式实时系统介绍.....21	
3.3.2 实时系统的分类.....22	
3.4 嵌入式实时操作系统.....23	
3.4.1 VxWorks.....23	
3.4.2 pSOS.....24	
3.4.3 QNX.....25	
3.4.4 DeltaOS.....25	
3.5 嵌入式软实时操作系统.....26	
3.5.1 嵌入式 Linux.....26	
3.5.2 Windows CE.....27	
3.5.3 Palm OS.....28	
3.6 嵌入式操作系统的选择.....28	
3.7 本章小结.....30	
习题.....30	
第 4 章 基于 Linux 的嵌入式软件开发31	
4.1 嵌入式 Linux 概述.....31	
4.2 Linux 基础.....32	
4.2.1 VMware 虚拟机中的 Linux 安装.....32	
4.2.2 进入与退出 Linux 系统.....37	
4.2.3 Linux 常用命令.....37	
4.3 嵌入式 Linux C 语言开发工具.....47	
4.3.1 C 语言与嵌入式系统设计.....47	
4.3.2 嵌入式 Linux C 语言编程环境.....48	
4.3.3 vi 编辑器.....48	
4.3.4 GCC 编译器.....51	
4.3.5 GNU make.....53	
4.3.6 GDB 调试器.....58	

4.4	μCLinux 操作系统	63
4.4.1	μCLinux 简介	63
4.4.2	μCLinux 的基本架构	63
4.4.3	μCLinux 的相关知识	64
4.5	建立 μCLinux 开发环境	66
4.5.1	交叉编译环境	66
4.5.2	基于 Linux 的宿主机建立交叉编译环境	66
4.5.3	基于 Cygwin 建立交叉编译环境 ...	69
4.5.4	μCLinux 内核编译	72
4.5.5	内核的加载运行	76
4.6	基于 μCLinux 的应用程序开发	78
4.6.1	基本开发步骤	78
4.6.2	应用程序开发实例	79
4.6.3	添加用户应用程序到 μCLinux	81
4.7	本章小结	84
	习题	85

第 5 章 基于 VxWorks 的

嵌入式软件开发

5.1	Tornado 简介	86
5.1.1	Tornado 的特点	87
5.1.2	Tornado IDE	88
5.1.3	VxWorks 目标机环境	90
5.1.4	宿主机与目标机的接口	91
5.2	Tornado 的安装和启动	92
5.2.1	Tornado 的安装	92
5.2.2	Tornado 的目录结构	93
5.2.3	Tornado 主窗口界面介绍	94
5.2.4	入门实例——Hello World	95
5.2.5	使用调试和分析工具	100
5.3	Tornado 环境下的工程开发	115
5.3.1	创建可下载的应用	115
5.3.2	创建用户定制的 VxWorks 映像 ...	116
5.3.3	创建可引导的应用	120
5.3.4	宿主机与目标机的通信	121
5.3.5	配置、构造引导程序及引导盘的制作	126
5.3.6	主机 Tornado 调试环境配置	131

5.3.7	多任务调试方法	132
5.4	VxWorks 操作系统	137
5.4.1	VxWorks 简介	137
5.4.2	Vxworks 操作系统的基本结构	138
5.4.3	VxWorks 任务	140
5.4.4	共享代码和重入	145
5.4.5	任务间通信	147
5.4.6	中断服务程序	163
5.4.7	时钟管理	164
5.5	实例分析	166
5.5.1	VxWorks 任务间通信	166
5.5.2	理发师问题	172
5.5.3	哲学家进餐问题	175
5.6	本章小结	180
	习题	180

第 6 章 嵌入式软件设计的

几个问题

6.1	实时多任务软件设计	181
6.1.1	实时多任务软件的设计步骤	181
6.1.2	任务划分	182
6.1.3	实时多任务设计实例	184
6.2	板级支持包 BSP	187
6.2.1	BSP 简述	188
6.2.2	BSP 的职责	189
6.2.3	BSP 的组成	190
6.2.4	VxWorks 映像类型及其启动顺序	193
6.2.5	BSP 的开发	196
6.3	外部设备的驱动	198
6.3.1	外部设备	198
6.3.2	外部设备的分类	199
6.3.3	I/O 设备的数据传送方式	200
6.3.4	硬件驱动程序	200
6.3.5	硬件驱动程序的主要功能	201
6.3.6	硬件驱动程序的组成部分	201
6.4	本章小结	202
	习题	202

第 7 章 嵌入式系统设计开发	203	第 8 章 实训	213
7.1 嵌入式系统设计开发概述.....	203	实训 1 Linux 安装	213
7.1.1 嵌入式系统开发的特点	203	实训 2 Linux 常用命令	215
7.1.2 嵌入式系统设计的目标	204	实训 3 嵌入式 Linux 下开发工具使用	217
7.1.3 嵌入式系统的设计开发方法	204	实训 4 μ CLinux 交叉开发环境	221
7.2 嵌入式硬件系统选型及设计	206	实训 5 添加 μ CLinux 应用程序	225
7.2.1 处理器的选择	206	实训 6 Tornado 集成开发环境	227
7.2.2 嵌入式系统硬件电路设计	207	实训 7 使用 Tornado 中的调试和	
7.2.3 印刷电路板设计	207	分析工具	229
7.3 嵌入式软件系统选择	208	实训 8 基于 VMware 建立 VxWorks 交叉	
7.3.1 软件平台的选择	208	开发环境	231
7.3.2 编程语言的选择	209	实训 9 VxWorks 组件的裁减和配置	238
7.3.3 集成开发环境的选择	209	实训 10 信号量	239
7.4 软、硬件协同开发	209	实训 11 消息队列	242
7.5 嵌入式系统的调试	210	实训 12 Wind 内核功能	244
7.6 嵌入式系统测试	211	实训 13 多任务程序调试方法	247
7.7 系统集成	212	实训 14 理发师问题	249
7.8 本章小结	212	参考文献	253
习题	212		

第1章 嵌入式系统概述

进入21世纪以来,嵌入式技术已经成为技术热点。嵌入式系统已普遍应用于军事电子、数字家庭、工业自动化、汽车电子、智能仪器、消费电子、通信设备、电力系统等国民经济的主要行业以及人们日常生活的方方面面。小到手机、智能卡、MP3、数码相机、PDA等微型数字化设备,大到宇宙飞船、飞机、汽车、信息家电、智能电器等,形形色色运用了嵌入式技术的电子产品和各种新型嵌入式设备在数量上远远超过了通用计算机。

1.1 嵌入式系统的定义

根据IEEE(国际电气和电子工程师协会)的定义,嵌入式系统是控制、监视或者辅助设备、机器和生产线运行的装置(原文为 Devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants)。这主要是从产品的应用角度加以定义的,由此可以看出嵌入式系统是软件和硬件的综合体,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。目前一个被国内普遍认同的定义是:嵌入式系统是以应用为中心,以计算机技术为基础,软/硬件可裁减,对功能、可靠性、成本、体积、功耗要求严格的专用计算机系统。

由以上定义可以看出,嵌入式系统是设计完成特定功能的、硬件和软件紧密耦合在一起的专用计算机系统,该专用计算机系统对软件和硬件的可裁剪性、功能、可靠性、成本、体积、功耗等方面提出了严格的要求。从定义还可以看出,嵌入式系统作为专用计算机系统应包含的4个要素:

(1) 以应用为中心。

嵌入式系统是面向用户、面向产品、面向应用的,嵌入的目的是为了提高产品的功能和性能,降低成本和体积等,如果独立于应用而自行发展则会失去市场。

(2) 以计算机技术为基础。

嵌入式系统“以计算机技术为基础”和“以应用为中心”这两个要素对从事嵌入式技术的开发人员提出了较高要求,一方面要求他们具备扎实的计算机科学或计算机工程方面的专业知识,同时还需要掌握相关应用行业的领域知识。也就是说,从事嵌入式技术的开发人员往往是跨专业的综合性人才。

(3) 软件和硬件可裁减。

嵌入式系统的硬件和软件需要针对用户的具体需求进行高效的设计。一方面,需要选择嵌入式处理器的种类、型号,对其芯片的配置进行裁减或扩展,实现理想的资源组合和较低的成本;另一方面,嵌入式软件各组件或模块设计需要量体裁衣,去除冗余,力求

在有限的硬件资源环境下实现更高的性能。

(4) 对功能、可靠性、成本、体积、功耗等要求严格。

例如，嵌入式处理器在功耗、体积、成本、可靠性、速度、处理能力、EMC(电磁兼容性)等方面均受到应用要求的制约，这些也是各个半导体厂商之间竞争的热点。

术语“嵌入式”反映了嵌入式系统通常是更大系统中的一个完整的部分。更大的系统称为“嵌入式系统”，一个“嵌入式系统”中可以共存多个小的嵌入式系统。

从表 1-1 可以看出嵌入式系统和通用计算机的主要区别。

表 1-1 嵌入式系统和通用计算机的主要区别

特 征	通用计算机	嵌入式系统
形式与类型	实实在在的计算机，按其体系结构、运算速度和规模可分为大型机、中型机、小型机和微机	“看不见”的计算机，形式多样，应用领域广泛，按应用进行分类
组成	通用处理器，标准总线 and 外设，软硬件相对独立	面向特定应用的微处理器，总线和外设一般集成在处理器内部，软硬件紧密结合
系统资源	系统资源充足，有丰富的编译器、集成开发环境、调试器等	系统资源紧缺无编译器等相关开发工具
开发方式	开发平台和运行平台都是通用计算机	采用交叉编译方式，开发平台一般是通用计算机，运行平台是嵌入式系统
二次开发性	应用程序可重新编程	一般不能重新编程开发
发展目标	编程功能电脑，普遍进入社会	变为专用电脑，实现“普及计算”

1.2 嵌入式系统的分类

1. 按应用分类

按应用分类，嵌入式系统可以分为信息家电类、移动终端类、通信类、汽车电子类和工业控制类等。

2. 按网络功能分类

按是否具有网络功能分类，嵌入式系统可以分为单机嵌入式系统和网络嵌入式系统。

3. 按嵌入式处理器的位数分类

按嵌入式处理器的位数分类，嵌入式系统可以分为 4 位、8 位、16 位、32 位和 64 位嵌入式系统。其中 4 位、8 位和 16 位嵌入式系统目前已大量应用；32 位嵌入式系统正成为主流发展趋势；64 位嵌入式系统在高度复杂的、高速的环境中已开始采用。

4. 按实时性能分类

按实时性能分类，嵌入式系统可分为嵌入式非实时系统和嵌入式实时系统。

嵌入式非实时系统的正确性仅仅依赖于计算机处理的逻辑结果，与结果产生的时间无关，主要应用于科学计算和一般实时性要求不高的场合，如掌上电脑、电子词典等。

嵌入式实时系统是能够对外部事件在限定的时间内做出及时响应的嵌入式系统。限定时间可能从微秒级(如信号处理)到分钟级(如联机查询系统)。这类系统在嵌入式系统中占有很大比例,如过程控制、数据采集、通信等领域的大部分嵌入式系统均属于嵌入式实时系统。实时控制系统和实时信息处理系统统称为实时系统。

5. 按软件结构分类

按软件结构分类,嵌入式系统可分为循环轮询系统和事件驱动系统。

最简单的软件结构是循环轮询。程序依次检查系统的每一个输入条件,一旦条件成立就进行相应的处理。循环轮询系统适合于慢速系统和简单的快速系统。

事件驱动系统是嵌入式实时系统的主要形式,能对外部事件直接响应。

1.3 嵌入式系统的特点

嵌入式系统是将计算机技术、半导体技术和电子技术与各个行业的具体应用相结合后的产物。这一点就决定了它必然是一个技术密集、资金密集、高度分散、不断创新的知识集成系统。嵌入式系统工业的基础是以应用为中心的芯片设计和面向应用的软件产品开发。相对于通用计算机系统而言,嵌入式系统主要具有如下几个方面的特点。

1. 系统专用

嵌入式系统是面向用户、面向产品、面向特定应用的,不可能独立发展。其专用性主要表现在采用专用的嵌入式处理器和采用专用的功能算法方面。嵌入式系统是面向具体用户和具体应用的,总是为完成某一特定任务而设计的,故一般采用专用的功能算法,一旦设计完成就不能再改变。嵌入式系统和具体应用有机地结合在一起,它的升级换代也和具体产品同步进行。

2. 系统精简

嵌入式系统往往结构紧凑,处理器的速度和资源、存储器的容量等都有限。所以嵌入式操作系统内核非常精简,目的是更可靠、更快速地执行任务程序,并且节省存储空间,使系统的复杂程度降低。外围器件也要求精简可靠,以最大性价比满足客户的需要。

3. 健壮可靠

嵌入式产品的使用人员多为非计算机专业人士,使用环境不定,往往条件恶劣,因此,其健壮性和可靠性是该类系统的必备条件。

4. 实时处理

按照嵌入式系统的定义,它是某种技术过程的核心处理环节,必须满足技术过程的时限要求,自然具有实时处理的特性。

5. 开发需要专门工具和特殊方法

多数嵌入式系统开发意味着软件与硬件的并行设计和开发。由于嵌入式系统资源有限,一般不具备自主开发能力,产品发布后用户通常也不能对其中的软件进行修改,因此必须有一套专门的开发环境。该开发环境包括专门的开发工具(包括设计、编译、调试、测试等工具),采用交叉开发的方式进行。

1.4 嵌入式系统的组成

嵌入式系统由硬件和软件两部分组成,如图 1-1 所示。硬件部分包括嵌入式处理器和外围硬件设备(如存储器、输入/输出接口);软件部分包括板级支持包(BSP)、嵌入式操作系统和应用程序(对于简单的嵌入式应用而言,嵌入式操作系统为可选项)。

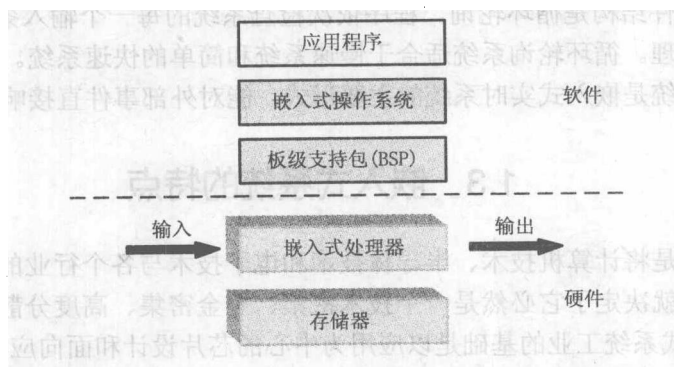


图 1-1 嵌入式系统组成

1.5 嵌入式系统的应用领域

嵌入式系统的应用数量上远远超过了通用计算机系统。如今,嵌入式系统的应用非常广泛,如制造工业、过程控制、通信、仪器、仪表、汽车、船舶、航空航天、军事装备、消费类产品等许多领域(见图 1-2)。可以说,嵌入式系统和嵌入式技术无处不在。

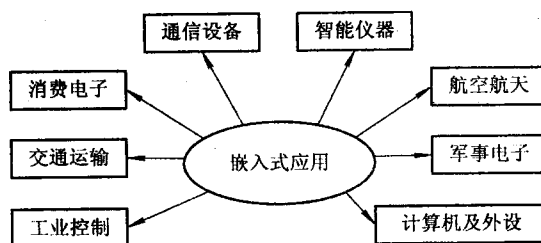


图 1-2 嵌入式系统应用领域

(1) 通信设备,如以太网交换机、路由器、网桥、网络集线器、远程接入服务器、异步传输模式交换机、帧中继交换机、电信专用分组交换机和自动呼叫分配器、CD 交换系统、蜂窝电话系统、xDSL 和电缆调制解调器等。

(2) 智能仪器,如数字示波器、核磁共振扫描仪、正电子成像扫描仪、放射理疗设备、床头监护器等。

(3) 消费电子,如 PDA(个人数字助理)、数码相机、手机、MP3、MP4、数字机顶盒、数字电话机、可视电话、声频设备、交互式设备等。

(4) 交通运输, 如汽车发动机控制系统、汽车导航系统、交通信号控制系统、高速火车控制系统、防滑测试系统、机载娱乐设备等。

(5) 计算机及外部设备, 如网络计算机、X 终端、冗余磁盘阵列数据存储系统、I/O 控制系统、打印机、数字复印机、传真机、多功能外围设备等。

(6) 工业控制, 如工业机器人、演奏机器人、测试测量设备、过程控制系统、工程机械智能控制器、计算机数值控制设备等。

(7) 航空航天, 如飞行仿真、航空机舱管理系统、卫星跟踪系统、航空电子设备等, 最典型的就是 1997 年 4 月登陆火星表面的火星探测器。

(8) 军事电子, 如雷达、电子对抗等军事电子设备和坦克、战斗机、战舰等现代武器。

1.6 嵌入式系统的发展

1.6.1 嵌入式系统的发展史

从 20 世纪 70 年代单片机的出现, 到今天各式各样的嵌入式微处理器、微控制器的大规模应用, 嵌入式系统已有近 40 年的发展历史。我们可以将嵌入式系统这近 40 年的发展史大致分为三个阶段。

1. 嵌入式系统的出现和兴起

1971 年 11 月, Intel 公司成功地将算术运算器和控制器集成在一起, 推出了世界第一片微处理器 Intel 4004, 这是嵌入式应用发展最重要的里程碑。

其后, 各厂家相继推出了许多 8 位或 16 位的微处理器, 包括 Intel 公司的 8080、8085、8086, Motorola 公司的 6800、68000, Zilog 公司的 Z80、Z8000。20 世纪 80 年代初, Intel 公司进一步完善了 8048, 在它的基础上研制成功了 8 位单片机 8051 以及后来的 16 位单片机 8096, 这在单片机史上是值得纪念的一页。迄今为止, 51 系列单片机仍然是最为成功的单片机芯片, 在各种产品中有着非常广泛的应用, 特别是在一些价格敏感, 而对性能又无严格要求的场合。这些曾经风光一时的处理器都可以算是嵌入式处理器的鼻祖。

2. 嵌入式系统开始走向繁荣

从 20 世纪 80 年代早期开始, 嵌入式系统的程序员开始用商业级的“操作系统”编写嵌入式应用软件, 从而使开发周期缩短, 开发资金减少, 开发效率提高, 真正的“嵌入式系统”出现了。

1981 年, Ready System 公司开发了世界上第一个商业嵌入式实时内核(VTRX32), 它包含了许多传统操作系统的特征, 包括任务管理、任务间通信、同步与相互排斥、中断支持、内存管理等功能。随后, 出现了如 ISI 的 pSOS、WindRiver 的 VxWorks、QNX 公司的 QNX 等。这些嵌入式实时多任务操作系统的出现, 使得应用开发人员从小范围的开发中解放出来, 同时也促使嵌入式有了更为广阔的应用空间。

3. 嵌入式系统应用走向纵深, 硬件和软件日臻完善

20 世纪 90 年代以来, 在分布控制、柔性制造、数字通信和数字家电等巨大商业需求的推动下, 嵌入式应用得到了进一步发展。

在硬件方面,尤其是芯片方面的发展表现出 3 个特点:面向实时信号处理算法的 DSP 向高速、高精度、低功耗方向发展,例如 TI 公司推出的第三代 DSP 单片 TMS320C30; 32 位微控制器已经成为市场主流,并向高速、智能化的方向发展;嵌入式 CPU 的主频越来越高,同时在对多媒体的支持方面发展迅速,例如,Intel 公司的基于 Xscale 微架构是嵌入式 CPU 中支持多媒体的典范。

在软件方面,嵌入式操作系统出现了进一步的分化,诞生了一些嵌入式操作系统家族。例如, Wind River 公司推出的 Wind River Platform for XXX, Microsoft 公司的 Windows Embedded 产品家族(包括 Windows CE 系列、Windows Embedded 系列和 Server Application Kit 三类产品)等就是分别针对不同领域、不同应用而构成的嵌入式操作系统家族。

跨平台的软件开发技术从通用计算机上延展到嵌入式设备上。例如, KVM(Kilobytes Virtual Machine)、J2ME(Java 2 Platform Micro Edition)、Java Card 等。

随着通用型嵌入式实时操作系统的发展,面向 Internet 网络和特定应用的嵌入式操作系统日益引起人们的重视,成为重要的发展方向。嵌入式系统与 Internet 的真正结合,嵌入式操作系统与应用设备的无缝结合代表着嵌入式操作系统发展的未来。

1.6.2 嵌入式应用软件面临的挑战

以信息家电为代表的互联网时代嵌入式产品,不仅为嵌入式市场展现了美好前景,注入了新的生命,同时也对嵌入式系统技术,特别是软件技术提出了新的挑战。这主要包括:支持日趋增长的功能密度、灵活的网络连接、轻便的移动应用和多媒体的信息处理,此外,当然还需对付更加激烈的市场竞争。

1. 嵌入式应用软件的开需要更加强大的开发工具和操作系统的支持

随着因特网技术的成熟、带宽的提高, ICP 和 ISP 在网上提供的信息内容日趋丰富、应用项目多种多样,像手机、电话座机及电冰箱、微波炉等嵌入式电子设备的功能不再单一,电气结构也更为复杂。为了满足应用功能的升级,设计师们一方面采用更强大的嵌入式处理器(如 32 位、64 位 RISC 芯片)或信号处理器 DSP 增强处理能力,同时还采用实时多任务编程技术和交叉开发工具技术来控制功能复杂性,简化应用程序设计,保障软件质量和缩短开发周期。

2. 联网成为必然趋势

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,嵌入设备必需配有通信接口,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、影视设备和信息终端交换信息)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、Bluetooth 或 IrDA 通信接口,同时也需要提供相应的通信组网协议软件和物理层驱动软件。为了支持应用软件的特定编程模式,如 Web 或无线 Web 编程模式,还需要相应的浏览器支持,如 HTML、WML 等。

3. 支持小型电子设备实现小尺寸、低功耗和低成本

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型和不断

改进算法, 采用 Java 编程模式, 优化编译器性能。因此, 既要求软件人员有丰富的经验, 更需要发展先进嵌入式软件技术, 如 Java、Web 和 WAP 等。

4. 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接受, 重要因素之一是它们与使用者之间的亲和力, 自然的人机交互界面, 如司机操纵高度自动化的汽车主要还是通过习惯的方向盘、脚踏板和操纵杆。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、图像已取得初步成效。目前一些先进的 PDA 在显示屏幕上已实现汉字写入、短消息语音发布, 但离语言同声翻译还有很大距离。

1.7 本章小结

嵌入式系统是以应用为中心, 以计算机技术为基础, 软件硬件可裁减, 对功能、可靠性、成本、体积、功耗要求严格的专用计算机系统, 是软件和硬件的综合体。本章对嵌入式系统的基本知识做了概述: 首先给出嵌入式系统的定义; 其次对嵌入式系统进行分类; 接着介绍了嵌入式系统的特点, 阐述了嵌入式系统的组成及应用领域; 最后介绍嵌入式系统的发展历史及发展趋势。

在下一章, 我们将学习嵌入式系统的硬件核心——嵌入式处理器的相关知识。

习 题

1. 如何理解嵌入式系统?
2. 什么是嵌入式实时系统?
3. 嵌入式系统有哪些基本特征?
4. 请列举一些我们日常生活中的嵌入式系统。