



普通高校“十一五”规划教材

主编 郭荣佐 王 霖 主审 郭 进
副主编 曹 琼 杜 诚 向兴元 李海洋 黄 君

嵌入式系统原理



北京航空航天大学出版社



普通高校“十一五”规划教材

嵌入式系统原理

主编 郭荣佐 王 霖 主审 郭 进

副主编 曹 琼 杜 诚 向兴元 李海洋 黄 君

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书主要内容包括:嵌入式系统概述和开发技术、嵌入式处理器、存储技术、输入/输出子系统、嵌入式软件系统和操作系统、嵌入式计算机联锁控制器设计等内容,最后给出了一系列嵌入式系统设计工程实例。内容简单实用、注重实践,在讲解上从嵌入式系统的开发流程、开发方法入手,分析、论述了嵌入式系统软、硬件两方面,最后给出嵌入式系统的应用例子,这些实例涉及嵌入式系统的软、硬件及其结合等方面的内容。通过阅读本书,可以使具备一定的系统设计能力的读者全面掌握嵌入式系统原理的知识,并充分学习到关于嵌入式系统原理的理论。同时,本书结合具体实例以培养读者的动手能力和设计开发基于特定微处理器的特定应用系统的能力,特别是关于嵌入式系统分析、系统设计、系统架构等方面技能。

本书主要适用于本(专)科院校、高等职业院校和各类培训学校嵌入式系统的教学,可作为从事相关工作的人员学习嵌入式系统知识的自学教材或嵌入式系统的软件编程和硬件系统设计的参考书,亦可作为嵌入式系统应用设计人员的参考用书。

本书配有教学课件,请发送邮件至:bhkejian@126.com 或致电 010-82317027 申请索取。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式系统原理/郭荣佐,王霖主编. —北京:北京航空航天大学出版社,2008.10

ISBN 978-7-81124-181-5

I. 嵌… II. ①郭…②王… III. 微型计算机—系统设计—高等学校—教材 IV. TP360.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 027139 号

嵌入式系统原理

主编 郭荣佐 王 霖 主审 郭 进

副主编 曹 琼 杜 诚 向兴元 李海洋 黄 君

策划编辑 蔡 喆

责任编辑 董 瑞

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100191) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

http://www.buaapress.com.cn E-mail:bhpress@263.net

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:24.5 字数:549 千字

2008 年 10 月第 1 版 2008 年 10 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 978-7-81124-181-5 定价:36.00 元

前言

随着 Internet 的普及,人们已经进入了网络时代和“后 PC 时代”。不仅是 PC 能上网,各种各样的手持设备/终端都可以上网。也出现了如掌上电脑、PDA、可视电话、移动电话、TV 机顶盒和数码相机等应用嵌入式系统的信息电器。即使是在 PC 里,除了 CPU、主板外,还有许多嵌入式设备,如硬盘、光驱等。所有这些,都说明嵌入式技术发展很快,而且应用十分广泛,嵌入式系统可以说是无处不在。

嵌入式系统的开发和应用发展非常快。通常嵌入式系统的开发周期在半年左右,更新时间在 3 年左右。嵌入式系统的开发人员必须快速地更新自己的开发技术和开发能力,不能长期停留在“单片机”时代。凡是从事嵌入式系统开发的读者,不仅需要掌握基于特定的软、硬件平台的技术研发,更需要不断增强自己的系统方案设计能力以及快速掌握软、硬件能力。因此,本书涉及了很多关于嵌入式系统的软、硬件特性比较和选型方面的知识。

就目前的市场而言,关于嵌入式方面的教材和书籍很多,笔者寻觅市场,发现一个大的问题,即真正讲解嵌入式系统原理方面的书籍很少,很多不适合于教学。于是,笔者于 2006 年 9 月开始着手编写一本适合于教学的嵌入式系统原理教材。

本书与目前多数嵌入式系统方面的图书出发点不同,笔者将 10 多年嵌入式系统方面的开发经验进行综合,侧重嵌入式系统的一般原理,从嵌入式系统的开发流程、开发方法入手,再从嵌入式系统软、硬件两方面进行讲解、论述,最后给出嵌入式系统的应用例子,这些实例涉及嵌入式系统的软、硬件及其结合方面。本书编写的主要目的是使学生充分学习关于嵌入式系统原理的理论,并结合具体实例,培养学生的动手能力,特别是培养关于嵌入式系统分析、系统设计、系统架构等方面的能力。

本书共分 9 章。第 1 章为嵌入式系统概述,介绍了嵌入式系统的基本知识和基本概念,包括嵌入式系统的概念、发展、特点、组成、分类和嵌入式微处理器,以及嵌入式系统的发展现状和趋势。第 2 章为嵌入式系统开发技术,分析了嵌入式的总体结构,从层次结构出发,讲解了嵌入式系统开发的体系结构,以及嵌入式系统开发的过程和嵌入式系统调试技术。第 3 章为嵌入式处理器,主要从嵌入式系统的硬件结构进行讲解,其次讲解处理器的技术指标和如何为嵌入式系统选择嵌

入式处理器,并针对现在比较流行的嵌入式处理器,重点讲解了 ARM 系列的嵌入式处理器。第 4 章为嵌入式存储技术,讲解了存储器子系统的有关问题,包括存储器的基本概念、基本原理和嵌入式存储器的种类,嵌入式存储器系统测试、验证和 design 方法、策略,嵌入式系统存储器的低功耗设计技术,嵌入式存储器的发展趋势、设计方法和具体设计实例等。第 5 章为嵌入式输入/输出子系统,讲解了几个典型的嵌入式处理器的 I/O 模块。第 6 章为嵌入式软件系统,讨论了嵌入式系统软件体系及其开发方式和开发形式,包括基于裸机的开发、基于嵌入式操作系统的开发,以及嵌入式系统软件的整体结构。第 7 章为嵌入式操作系统概论,讲解了嵌入式操作系统 RTOS 的组成和概念,分析和介绍了嵌入式操作系统性能的测试方法,使读者认识和掌握嵌入式操作系统方面的基本知识,并了解常用的嵌入式操作系统。第 8 章为嵌入式计算机联锁控制器设计,使读者认识和了解了嵌入式系统开发的全部过程。第 9 章为嵌入式系统设计实例,结合几个应用和设计案例,讲解了嵌入式系统产品的组成和设计方法。

本书主要适用于本(专)科院校、高等职业院校和各类培训学校嵌入式系统的教学,可作为从事相关工作的人员学习嵌入式系统知识的自学教材或作为嵌入式系统的软件编程和硬件系统设计的参考书,亦可作为嵌入式系统应用设计人员的参考用书。

本书由郭荣佐、王霖主编,郭进教授主审,曹琼、杜诚、向兴元和李海洋等担任副主编。本书编写分工如下:柴晟编写第 1 章,郭荣佐编写第 2 章,杨扬和刘立芳合作编写第 3 章,曹琼编写第 4 章,杜诚编写第 5 章,向兴元编写第 6 章,安晓钢编写第 7 章,王霖编写第 8 章,李海洋编写第 9 章。参与部分章节编写和大纲讨论的人员还有杜忠、杨融浩、尹静、黄君、宋健和程玉昆等。同时,特别感谢西南交通大学、成都纺织高等专科学校、重庆工学院、西南民族大学、重庆文理学院、绵阳师范学院、成都航空职业技术学院、陕西科技大学、西南科技大学、成都理工大学、四川理工学院和宜宾学院等予以的大力支持,使本书得以出版。

在编写过程中,得到北京航空大学出版社理工事业部各位编辑的大力支持,在此表示衷心的感谢。

恐百密之中仍有疏漏,恳请广大读者及专家不吝赐教。

编 者

2007 年 12 月

目 录

第 1 章 嵌入式系统概述

1.1 嵌入式系统的发展	1
1.1.1 嵌入式系统回顾	1
1.1.2 嵌入式系统的概念	2
1.1.3 嵌入式系统的发展史	3
1.1.4 嵌入式系统的特点	4
1.2 嵌入式系统的分类与应用	5
1.2.1 嵌入式系统分类	5
1.2.2 嵌入式系统的应用	6
1.3 嵌入式处理器	7
1.3.1 嵌入式微处理器	8
1.3.2 嵌入式微控制器	8
1.3.3 嵌入式 DSP 处理器	9
1.3.4 嵌入式片上系统	10
1.3.5 知识产权核	10
1.3.6 测试处理器指标的方法	11
1.4 嵌入式系统的组成	12
1.4.1 嵌入式系统的硬件	12
1.4.2 嵌入式系统的软件	12
1.4.3 嵌入式系统的开发工具和开发系统	13
1.5 嵌入式系统的现状与发展趋势	13
1.5.1 嵌入式系统的现状	13
1.5.2 嵌入式系统的发展趋势	14
1.6 小 结	15
习题 1	15

第 2 章 嵌入式系统开发技术

2.1 嵌入式系统的结构设计	16
2.1.1 硬件层	17



2.1.2 中间层.....	17
2.1.3 系统软件层.....	18
2.1.4 应用软件层.....	18
2.2 嵌入式系统的设计方法.....	19
2.2.1 嵌入式系统设计流程.....	19
2.2.2 嵌入式系统的一般设计方法.....	20
2.2.3 嵌入式系统的软、硬件协同设计技术	21
2.3 嵌入式系统开发技术.....	23
2.3.1 需求分析.....	23
2.3.2 详细设计.....	29
2.3.3 系统实现.....	35
2.3.4 系统测试.....	42
2.4* 嵌入式系统的调试技术	55
2.4.1 基于主机的调试.....	56
2.4.2 远程调试器与调试内核.....	57
2.4.3 ROM 仿真器	59
2.4.4 在线仿真.....	61
2.4.5 背景调试模式.....	64
2.4.6 JTAG 接口及其调试技术	65
2.4.7 软件仿真器.....	68
2.5 嵌入式系统开发技术的发展趋势及其挑战.....	69
2.5.1 嵌入式系统开发技术发展的特点.....	69
2.5.2 嵌入式系统开发技术的新挑战.....	73
2.6 小 结.....	76
习题 2	76

第3章 嵌入式处理器

3.1 概 述.....	77
3.2 嵌入式系统硬件结构.....	77
3.2.1 嵌入式系统模式.....	77
3.2.2 硬件构架.....	78
3.2.3 嵌入式处理器子系统.....	80
3.2.4 嵌入式系统外围硬件模块.....	85
3.2.5 调试子系统与处理单元选择.....	85
3.3 处理器技术指标与选型.....	86

3.3.1 嵌入式系统处理器技术指标	86
3.3.2 处理器选型原则和方法	88
3.4 常用的嵌入式处理器	90
3.4.1 MIPS	90
3.4.2 PowerPC	92
3.4.3 x86	93
3.4.4 68K/Coldfire	94
3.4.5 嵌入式流处理器简述	94
3.5 ARM 处理器	95
3.5.1 概 述	95
3.5.2 ARM 应用领域和特点	96
3.5.3 ARM 微处理器系列	97
3.5.4 ARM 微处理器结构	100
3.5.5 ARM 处理器选型方法	101
3.6 小 结	102
习题 3	102

第 4 章 嵌入式存储技术

4.1 概 述	103
4.2 嵌入式系统存储器体系	103
4.2.1 存储器的结构	103
4.2.2 嵌入式系统存储器体系结构	104
4.3 存储器的性能指标、工作时序和分类	104
4.3.1 性能指标	104
4.3.2 存储器的工作时序	106
4.3.3 存储器分类	109
4.4 RAM 和 ROM	109
4.4.1 RAM	109
4.4.2 ROM	110
4.5* 嵌入式存储器	110
4.5.1 嵌入式易失性存储器	110
4.5.2 嵌入式非易失性存储器	112
4.6* 嵌入式存储器选型、测试和验证	114
4.6.1 嵌入式存储器选型	114
4.6.2 嵌入式存储器测试	117



4.6.3 嵌入式存储器验证方法	126
4.7* 嵌入式存储器的设计方法和策略	130
4.7.1 存储器的外包设计	130
4.7.2 RISC 中的存储器设计	130
4.7.3 嵌入式存储器设计方法	131
4.8* 嵌入式存储器低功耗技术	132
4.8.1 嵌入式存储器低功耗设计	133
4.8.2 嵌入式系统闪存存储器低功耗设计	136
4.9* 嵌入式存储器发展趋势	139
4.9.1 嵌入式存储的优势	139
4.9.2 嵌入式存储面临的挑战	140
4.9.3 嵌入式存储的未来	141
4.10* 嵌入式存储器子系统设计实例	141
4.10.1 TMS320C32 浮点 DSP 存储器接口设计	141
4.10.2 MCS-51 单片机存储器扩展	145
4.11 小 结	148
习题 4	148

第 5 章 嵌入式输入/输出子系统

5.1 概 述	149
5.2 复位电路	149
5.2.1 基本复位电路	149
5.2.2* 改进的复位电路	152
5.2.3* 复位电路设计	156
5.3 时钟电路	162
5.3.1 RC 时钟	163
5.3.2 石英晶体	163
5.3.3 石英振荡器	164
5.3.4 锁相环倍频时钟	164
5.4 嵌入式处理器的 I/O 模块	165
5.4.1 基本结构	165
5.4.2 I/O 接口的信号及其作用	166
5.4.3 寄存器的映射方式	166
5.5 嵌入式系统的译码器	167
5.5.1 作用和种类	167

5.5.2 可编程器件译码器	167
5.5.3 嵌入式处理器上的集成译码模块	168
5.6 定时器/计数器	168
5.6.1 功 能	168
5.6.2 基本结构	170
5.6.3 工作模式	171
5.7* 串行外部设备接口	171
5.7.1 原理与功能	171
5.7.2 数据流动	173
5.7.3 引 脚	174
5.7.4 寄存器及其功能	175
5.8* 异步通信收发器	177
5.8.1 UART 结构、原理和编程	178
5.8.2 UART 软件实现技术	180
5.9 小 结	183
习题 5	184

第 6 章 嵌入式软件系统

6.1 嵌入式软件体系结构	185
6.1.1 嵌入式软件层次结构	185
6.1.2 嵌入式软件组成	186
6.2 硬件抽象层	187
6.2.1 嵌入式操作系统运行的必要条件	187
6.2.2 硬件抽象层的运行流程	188
6.2.3 硬件抽象层体系结构	189
6.2.4 硬件抽象实例	190
6.3 嵌入式软件系统的设计方法概述	193
6.3.1 简单嵌入式系统的设计	193
6.3.2 复杂的嵌入式系统设计	197
6.4 软件移植概述	199
6.4.1 移植的必要性	199
6.4.2 裸机系统的软件移植	200
6.4.3 有操作系统的软件移植	201
6.4.4 应用软件移植	202
6.4.5 应用软件的移植设计方法	205



6.5 嵌入式软件发展趋势	208
6.6* 嵌入式软件测试与移植实例	210
6.6.1 嵌入式软件测试	210
6.6.2 嵌入式 Linux 下 MiniGUI 的移植	212
6.7 小 结	215
习题 6	215

第 7 章 嵌入式操作系统概论

7.1 概 述	216
7.2 操作系统基本概念	216
7.2.1 操作系统概念	216
7.2.2 操作系统的分类	217
7.2.3 操作系统体系结构	218
7.2.4 操作系统功能概述	219
7.3 嵌入式操作系统概念	221
7.3.1 实时操作系统的发展历程	222
7.3.2 RTOS 基本概念	223
7.3.3 从嵌入式系统到嵌入式操作系统	225
7.3.4 实时操作系统与通用操作系统的比较	227
7.3.5 嵌入式实时操作系统的现状和未来	230
7.3.6 嵌入式操作系统的应用	233
7.4 典型的嵌入式操作系统	234
7.4.1 VxWorks 和 pSOS	234
7.4.2 OSKit	238
7.4.3 Palm OS	243
7.4.4 μ C/OS 和 μ C/OS-II	245
7.4.5 QNX 操作系统概述	250
7.5 嵌入式操作系统性能测试及其选择	254
7.5.1 概 述	254
7.5.2 嵌入式操作系统性能测试	255
7.5.3 如何选择嵌入式操作系统	259
7.6* 嵌入式操作系统移植实例	264
7.6.1 μ C/OS-II 移植于 MCS-51 单片机	264
7.6.2 μ CLinux 操作系统移植	278
7.7 小 结	282



习题 7	282
------------	-----

第 8 章 嵌入式计算机联锁控制器设计

8.1 概 述	283
8.2 控制器硬件设计	285
8.2.1 安全可靠的冗余结构	285
8.2.2 系统总体结构	286
8.2.3 硬件设计方案	287
8.2.4 控制器系统总体结构	289
8.2.5 控制器硬件设计	291
8.3 控制器软件体系	295
8.3.1 控制器软件结构设计	295
8.3.2 操作系统选择及开发环境建立	295
8.3.3 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 移植	297
8.3.4 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 功能扩展	300
8.4 驱动程序开发	311
8.4.1 驱动程序开发特点及存在的注意问题	311
8.4.2 驱动程序开发模型	312
8.4.3 驱动程序设计	313
8.4.4 数据保护方案	318
8.5 应用软件设计	320
8.5.1 应用软件总体结构	320
8.5.2 联锁软件设计	321
8.5.3 通信软件设计	322
8.5.4 主程序设计	324
8.6 小 结	327
习题 8	328

第 9 章 嵌入式系统设计实例

9.1 概 述	329
9.2* 智能手机设计	329
9.2.1 概 述	329
9.2.2 S3C44B0X 为处理器的 PDA 设计	331
9.2.3 军用 PDA 设计	333
9.2.4 智能手机设计	336



9.3	GPS 接收机	340
9.3.1	GPS 概述	340
9.3.2	GPS 接收机的组成结构	341
9.3.3	软、硬件设计	342
9.3.4	接收机性能分析	342
9.4*	嵌入式防火墙技术	344
9.4.1	防火墙概述	344
9.4.2	嵌入式防火墙概述	345
9.4.3	嵌入式防火墙的实现	347
9.5	信息家电概论	350
9.5.1	家庭网络通信技术	351
9.5.2	信息家电的功能和特点	352
9.5.3	信息家电的硬件平台	354
9.5.4	信息家电的结构	355
9.6	嵌入式医用灭菌控制仪	355
9.6.1	工艺流程及控制要求	356
9.6.2	硬件结构	356
9.6.3	软件系统	357
9.7*	数字电视机顶盒	360
9.7.1	数字电视机顶盒定义、分类与未来	360
9.7.2	数字电视机顶盒原理与结构	362
9.7.3	机顶盒研发现状	365
9.7.4	数字电视机顶盒设计实例	368
9.8	基于 ARM 的造纸机控制器设计	372
9.8.1	造纸机控制要求	372
9.8.2	系统架构	373
9.8.3	软件体系	374
9.8.4	软件模块设计与实现	375
9.8.5	系统调试	376
9.9	小 结	377
	习题 9	377
	参考文献	378

第 1 章 嵌入式系统概述

1.1 嵌入式系统的发展

随着信息技术和网络技术的高速发展,社会已经进入数字时代。建立在其基础上的嵌入式系统已经广泛地渗透到科学研究、工程设计、军事技术、文艺娱乐业,以及人们的日常生活的方方面面。随着嵌入式产品(如车载电脑、机顶盒等)的进一步开发和推广,嵌入式技术和人们生活的联系越来越紧密。有人可能从来没有接触过计算机,但不太可能从来没有接触过嵌入式系统或嵌入式产品。因为嵌入式系统或嵌入式产品无处不在,从家庭的洗衣机、电冰箱到办公室的远程会议系统都是使用嵌入式技术进行开发和改造的产品。

1.1.1 嵌入式系统回顾

嵌入式这个概念在很早以前就已经存在,并且被广泛地应用着。嵌入式系统的最早应用和发展是在通信方面,早在 20 世纪 60 年代嵌入式系统就被用于对电子机械电话交换的控制,当时称之为“存储式程序控制系统”。

但是,嵌入式系统的真正发展并大量应用是在微处理器问世之后。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,推出了第一款微处理器 Intel 4004,其后各厂家陆续推出了许多 8 位、16 位的微处理器,包括 Intel 8080/8085、8086, Motorola 公司的 6800、68000,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形成了一个广阔的嵌入式应用市场,计算机厂家开始大量地以插件方式向用户提供 OEM(original equipment manufacturer)产品,再由用户根据自己的需要选择一套适合的 CPU 板、存储器板以及各种 I/O 插件板,构成专用的嵌入式计算机系统,并将其嵌入到自己的系统设备中。

由于社会需求的变化,出于对嵌入式计算机系统产品的灵活性、兼容性等的考虑,出现了系列化、模块化的单板机。流行的单板计算机主要有 Intel 公司的 iSBC 系列、Zilog 公司的 MCB 等。后来人们可以不必从选择芯片开始来设计一台专用的嵌入式计算机,而是只须选择各种功能模块,就能够组建一台专用计算机系统。用户和开发者都希望从不同的厂家选购最适合的 OEM 产品,插入外购或自制的机箱中就形成新的系统,这样就希望插件是互相兼容的,也就导致了工业控制计算机总线的诞生。比如,1976 年 Intel 公司推出 Multibus,并于 1983 年将其扩展为带宽达 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等。

随着电子技术和计算机技术的不断发展,20 世纪 80 年代可以说是各种总线层出不穷、群雄并起的时代。此时的微电子工艺水平不断提高,集成电路制造商开始将嵌入式应用中所需要的微处理器、I/O 接口、A/D、D/A 转换、串行接口以及 RAM、ROM 等部件统统集成到一个 VLSI 中,从而制造出面向 I/O 设计的微控制器,也就是人们俗称的系统,成为嵌入式计算机系统异军突起的一支新秀。紧随其后的 DSP 产品进一步提升了嵌入式计算机系统的技术水平,并迅速地渗入了消费电子、医用电子、智能控制、通信电子、仪器仪表、交通运输等各种领域。

到 20 世纪 90 年代,由于分布控制、柔性制造、数字化通信和信息家电等巨大需求的推动,使得嵌入式系统进入加速发展的阶段。此时的 DSP 产品便向着高速、高精度、低功耗发展。美国德州仪器公司推出的第三代 DSP 芯片 TMS320C30 引导着微控制器向 32 位高速智能化发展。在应用方面,随着掌上电脑、手持 PC、机顶盒等技术的相对成熟,发展十分迅速,特别是掌上电脑、个人数字助理(Personal Digital Assistant, PDA)等方面。就美国市场而言,在 1997 年掌上电脑不过四五个品牌,而到 1998 年底,各式各样的掌上电脑、个人数字助理纷纷涌现出来。此外, 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。装载在汽车上的小型电脑,不但可以控制汽车内的各种设备(如音响等),还可以与 GPS 连接,从而自动操控汽车。人们正处于网络时代,嵌入式系统的发展方向就是将嵌入式计算机系统应用到各类网络中去。在具有巨大发展潜力的“信息家电”中,人们非常关注网络电话设备。这种设备可以像普通电话一样,可它却是通过互联网来实现双方通话的,花很少的钱就可以打长途电话。

1.1.2 嵌入式系统的概念

随着嵌入式系统在人们实际生活中的应用越来越广泛,嵌入式系统的确切定义引发了许多争论。

嵌入式系统本身是一个比较模糊的概念。人们很少会意识到他们往往随身携带了好几个嵌入式系统,如 MP3、手机和智能卡等,而且他们也往往毫不察觉与汽车、电梯、厨房设备、电视、摄像机及娱乐系统的嵌入式系统的交互。早期的嵌入式系统主要应用于军事和航空、航天等领域,以后逐步广泛地应用于工业控制、仪器仪表、汽车电子、通信和家用消费类等领域。

根据 IEEE(电气工程师协会)的定义,嵌入式系统是“控制、监视或者辅助设备、机器和车间运行的装置”(原文为 devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants)。由该定义得知,嵌入式系统具有的特征为:

- (1) 通常只执行特定功能,这一点与一般桌上型计算机系统有很大的区别;
- (2) 以微电脑与周边器件构成核心,其规模可在大范围内变化,如从单片机芯片到 PC 芯片、从 MCS8XX51 到 ARM 芯片;



(3) 具有严格的时序性和稳定性,这是因为在机器控制的大型系统中,程序运行稍有差错,就可能使得整个系统失去控制,甚至酿成灾难;

(4) 全自动操作循环。

嵌入式系统是计算机系统软件与硬件的综合体,以应用为中心,以计算机技术为基础,软、硬件具有可裁剪性,从而能够适应实际应用中对功能、可靠性、成本、体积、功耗等有严格要求的专用计算机系统。嵌入式计算机在应用数量上远远超过了通用计算机。一台通用计算机的外部设备中就包含了 5~10 个嵌入式微处理器,如键盘、鼠标、软驱、硬盘、显示卡、显示器、Modem、网卡、声卡、打印机、扫描仪、数码相机和 USB 集线器等,都是由嵌入式处理器在进行控制。在制造工业、过程控制、通信、仪器、仪表、汽车、船舶、航空、航天、军事装备、消费类产品等方面,嵌入式计算机都被广泛地应用着。

1.1.3 嵌入式系统的发展史

嵌入式系统从出现至今已走过了近 40 年。早在电子数字计算机出现之前,就产生了将计算装置嵌入在系统和设备之中的嵌入式系统,如把计算机嵌入到导弹等武器和航天器中。但是直到 20 世纪 60 年代末,随着微电子技术的发展,嵌入式计算机才逐渐兴起。特别是进入 21 世纪后,随着人们对计算机、通信、消费电子的一体化趋势的日益明显,嵌入式技术成为一个研究热点。从嵌入式技术的发展过程来看,大致经历了 4 个阶段。

1. 无操作系统阶段

基于单片机的应用开发是嵌入式系统的最初形式,其中大部分是以可编程控制器的形式出现,具有监测、伺服和设备指示等功能,通常应用于各类工业控制和飞机、导弹等武器装备中,一般没有操作系统的支持,只能通过汇编语言对系统进行直接控制,运行结束后再清除内存。这些装置虽然已经初步具备了嵌入式的应用特点,但只使用了 8 位的 CPU 芯片来执行一些单进程,因此严格地说不具有“系统”的概念。

这一阶段嵌入式系统的主要特点是:系统结构和功能相对单一,处理效率较低,存储容量较小,没有用户接口。由于这种嵌入式系统使用简便、价格低廉,因而曾经在工业控制领域中得到了非常广泛的应用,但却无法满足现今对执行效率和存储容量都有较高要求的信息家电等的需要。

2. 简单操作系统阶段

20 世纪 80 年代,随着微电子工艺水平的提高,集成电路(Integrated Circuit, IC)制造商开始把嵌入式应用中所需要的微处理器、I/O 接口、串行接口及 RAM、ROM 等部件集成到一片 VLSI 中,制造出面向 I/O 设计的微控制器,并一举成为嵌入式系统领域中异军突起的新秀。与此同时,嵌入式系统的程序员也开始基于一些简单的“操作系统”开发嵌入式应用软件,此举大大缩短了开发周期,提高了开发效率。

这一阶段嵌入式系统的主要特点是:出现了大量具有高可靠性、低功耗的嵌入式 CPU(如



PowerPC 等),各种简单的嵌入式操作系统开始出现并得到迅速发展。此时的嵌入式操作系统虽然还比较简单,却具备了一定的兼容性和扩展性,内核精巧而且效率高,主要用来控制系统负载及监控应用程序的运行。

3. 实时操作系统阶段

20 世纪 90 年代,在分布控制、柔性制造、数字化通信和信息家电等巨大需求的牵引下,嵌入式系统进一步飞速发展,而面向实时信号处理算法的数字信号处理器(Digital Signal Processor, DSP)产品则向着高速度、高精度、低功耗的方向发展。随着硬件实时性要求的提高,嵌入式系统的软件规模也不断扩大,逐渐形成了实时多任务操作系统(Real-Time Operation System, RTOS),并开始成为嵌入式系统的主流。

该阶段的特点是:操作系统的实时性得到了很大改善,已经能够运行在各种不同类型的微处理器上,具有高度的模块化和扩展性。此时的嵌入式操作系统已经具备了文件和目录管理、设备管理、多任务、网络、图形用户界面(Graphic User Interface, GUI)等功能,并提供了大量的应用程序接口(Application Programming Interface, API),从而使应用软件的开发变得更加简单。

4. 面向 Internet 阶段

21 世纪是网络时代,随着 Internet 的进一步发展,以及 Internet 技术与信息家电、工业控制技术等的结合日益紧密,嵌入式设备与 Internet 的结合是嵌入式系统未来的发展趋势。

综上所述,嵌入式系统技术日益完善,32 位微处理器在该系统中占主导地位,嵌入式操作系统已经从简单走向成熟,与网络、Internet 结合日益密切。因此,嵌入式系统应用将日益广泛。

1.1.4 嵌入式系统的特点

从嵌入式系统产生至今,嵌入式系统的高度集成性、专用性、开发具有周期性、软件固化性和修改的特殊性等特点使其得以发展,而且使其得到广泛的应用。

(1) 高度集成性

嵌入式系统是先进的计算机技术、半导体技术及电子技术与各个行业的具体应用相结合的产物,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。在通用计算机行业中,占整个计算机行业 90% 的个人电脑产业,绝大部分采用的是 Intel 的 x86 体系结构,而芯片厂商则集中在 Intel、AMD、Cyrix 等几家公司,操作系统方面更是被微软公司所垄断。而嵌入式系统领域是一个分散的,充满竞争、机遇与创新的工业,没有哪个公司的操作系统和处理器能够垄断市场。

(2) 专用性

嵌入式系统通常是面向用户、面向产品、面向特定应用的。嵌入式系统中的 CPU 与通用型 CPU 的最大不同就是前者大多工作在为特定用户群设计的系统中。通常,嵌入式系统 CPU 都具有低功耗、体积小、集成度高等特点,能够把通用 CPU 中许多由板卡完成的任务集成在芯片内部,从而有利于整个系统设计趋于小型化。在对嵌入式系统的硬件和软件进行设计时,必须重视