



普通高等教育“十一五”国家级规划教材 计算机系列教材

# 嵌入式系统教程

张晨曦 韩超 沈立 李江峰 陈渝 编著

清华大学出版社

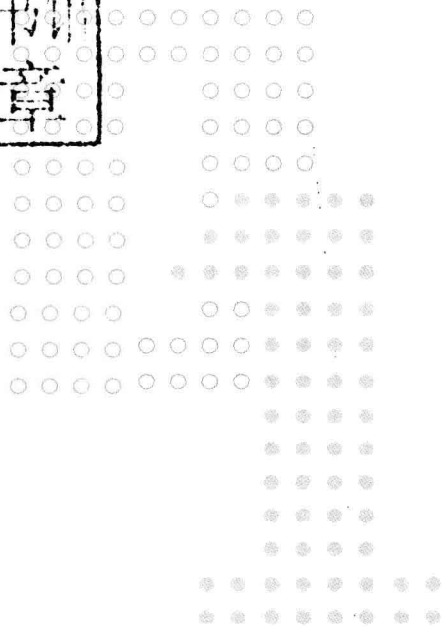
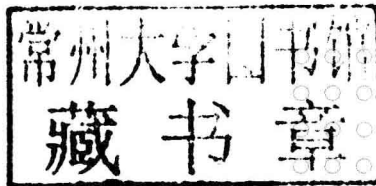




普通高等教育“十一五”国家级规划教材 计算机系列教材

张晨曦 韩超 沈立 李江峰 陈渝 编著

# 嵌入式系统教程



清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书是一本全面介绍嵌入式系统的教材,内容包括系统概述到硬件系统、软件系统、操作系统以及嵌入式系统的实现,覆盖面广,系统深入,并重点介绍了嵌入式 Linux。全书共分为 12 章,分别为嵌入式系统概述,嵌入式系统设计的系统工程方法,嵌入式处理器,嵌入式系统的 I/O 模块,嵌入式系统的软件,嵌入式网络与协议栈,嵌入式操作系统,嵌入式 Linux 的开发环境,嵌入式 Linux 系统的组成和构建,嵌入式 Linux 系统内核原理和移植,嵌入式 Linux 系统的驱动程序,嵌入式系统的实现和调试。

本书结构合理,内容系统、全面,可作为高等院校计算机专业、电类专业、自动化以及机电一体化专业本科生“嵌入式系统”、“嵌入式系统体系结构”、“嵌入式系统原理及应用”及“嵌入式系统设计”等课程的教材和参考书,也可供希望了解和掌握嵌入式系统的技术人员参考阅读。

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

嵌入式系统教程/张晨曦等编著. —北京:清华大学出版社,2013.1  
(计算机系列教材)

ISBN 978-7-302-28371-3

I. ①嵌… II. ①张… 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 050039 号

责任编辑:魏江江 薛 阳

封面设计:傅瑞学

责任校对:梁 毅

责任印制:何 芊

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](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

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

印 装 者:三河市李旗庄少明印装厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:22.25 字 数:557千字

版 次:2013年1月第1版 印 次:2013年1月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:38.00元

---

产品编号:021309-01

# 前 言

## FOREWORD

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。适用于计算机专业及相关专业本科生或研究生,可作为嵌入式系统相关课程的教材和参考书。

随着计算机技术的飞速发展,嵌入式技术已经是继网络技术之后,又一个得到广泛应用的新的技术发展方向,已成为 IT 领域的基础技术之一。嵌入式系统是计算机软件与硬件的完美结合,近年来已广泛地应用于军事、家庭、工业、商业、办公、医疗等社会各个方面。

本书系统地介绍了嵌入式系统,从系统概述到硬件系统、软件系统、操作系统以及嵌入式系统的实现,并重点介绍了嵌入式 Linux。本书详细介绍了嵌入式系统各组成部分的功能与设计,由浅入深地对嵌入式系统的基本理论知识和技巧进行详细分析和论述,帮助学生掌握嵌入式系统的基本概念,学会使用系统开发工具,学习系统开发方法和开发流程。本书不仅注意介绍技术和方法,而且注重对经典的结构和思想等的论述和分析。

本教材具有如下主要特点。

- (1) 取材先进,体系完整,覆盖面广,深度与广度相结合。
- (2) 重点突出,可读性好,语言简练,通俗易懂。
- (3) 结构合理,内容系统,主题安排逻辑性强。
- (4) 表达明晰,突出强调示例。

全书共有 12 章。第 1 章为“嵌入式系统概述”,简单介绍了嵌入式系统的概念以及嵌入式系统的发展,并介绍了嵌入式系统的应用。第 2 章从工程设计的角度,介绍了嵌入式系统的设计方法。第 3 章为“嵌入式处理器”,讲述了嵌入式系统的硬件组成,介绍了嵌入式处理器的发展,并详细讲述了几种典型的嵌入式处理器,特别是 ARM 系列的嵌入式处理器。第 4 章介绍了嵌入式系统的 I/O 模块的基本结构,包括通信接口、通用并行接口、中断接口等 I/O 接口的内部结构和基本操作,并以实例说明了接口的实现方式。第 5 章讲述了嵌入式系统软件的开发方式、嵌入式系统软件的结构,介绍了嵌入式 Linux 中的常用软件。第 6 章为“嵌入式网络与协议栈”,讲述了嵌入式网络及嵌入式系统的联网,介绍了嵌入式 Internet 技术、蓝牙技术。第 7 章为“嵌入式操作系统”,讲述了嵌入式操作系统及实时系统的基本概念和功能,介绍了几种常用的嵌入式操作系统,并介绍了一个嵌入式操作系统的实例—— $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  操作系统。第 8 章和第 9 章分别讲述了嵌入式 Linux 的开发环境和系统组成及构建。第 8 章介绍程序生成工具 GCC 工具链、工程管理工具 Make 和 Makefile、GDB 调试工具以及主机开发环境设置。第 9 章介绍嵌入式 Linux 系统的结构、嵌入式 Linux 的 BootLoader、嵌入式 Linux 内核的构建、根文件系统等。第 10 章为“嵌入式 Linux 系统内核

原理和移植”，讲述了嵌入式 Linux 内核的工作原理，介绍了 Linux 内核的移植工作，并以基于 S3C2410 嵌入式系统的 Linux 2.6 的移植为例，介绍了嵌入式 Linux 操作系统移植的基本步骤。第 11 章为“嵌入式 Linux 系统的驱动程序”，讲述了 Linux 系统的内核编写及驱动程序的编写基础，介绍了嵌入式 Linux 中的几种驱动程序。第 12 章为“嵌入式系统的实现和调试”，讲述嵌入式系统的软件测试流程，介绍了嵌入式系统的调试和嵌入式系统的集成开发环境，并分析了嵌入式系统设计中的功耗、电磁兼容性问题。

本书借鉴了国内外经典的相关教材，吸取了它们各自的优点，并将其内容有机地结合在一起。本书按层次和模块化结构组织教学内容，授课老师可以根据需要及课时的多少，对内容进行灵活的取舍。教学课时可以安排为 48~64 学时。

本书由同济大学的张晨曦教授、清华大学的韩超、国防科技大学的沈立、同济大学的李江峰以及清华大学的陈渝编写。张晨曦教授对全书进行了统稿。

本书直接或间接地引用了许多专家和学者的文献或著作，在此向他们表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中难免有疏漏和不妥之处，敬请读者批评指正。请把相关的信息发送到 [xzhang2000@sohu.com](mailto:xzhang2000@sohu.com)。

欢迎访问张晨曦教授的微博和个人网站：[weibo.com/FotoSky](http://weibo.com/FotoSky)，[www.FotoSky.com](http://www.FotoSky.com)，[www.Arch365.net](http://www.Arch365.net)。

编 者

2012 年 2 月于上海

<b>第 1 章 嵌入式系统概述</b> .....	1
1.1 嵌入式系统的概念 .....	1
1.2 嵌入式系统的发展 .....	2
1.2.1 嵌入式系统的产生.....	2
1.2.2 嵌入式系统的发展历史.....	3
1.2.3 嵌入式系统的发展趋势.....	4
1.3 嵌入式系统的特点 .....	5
1.4 嵌入式系统的组成 .....	6
1.4.1 嵌入式系统的硬件.....	6
1.4.2 嵌入式系统的软件 .....	10
1.5 嵌入式系统的分类.....	11
1.6 嵌入式系统的应用.....	13
习题 .....	14
<b>第 2 章 嵌入式系统设计的系统工程方法</b> .....	15
2.1 嵌入式系统设计模型和设计步骤.....	15
2.2 系统需求分析 .....	17
2.2.1 需求描述阶段 .....	17
2.2.2 规格说明阶段 .....	18
2.3 系统设计.....	19
2.3.1 体系结构设计 .....	19
2.3.2 硬件平台的选择 .....	19
2.3.3 软件平台的选择 .....	20
2.3.4 硬件和软件的划分 .....	21
2.3.5 嵌入式系统设计方法 .....	21
2.4 系统集成与调试.....	23
2.4.1 系统集成 .....	23
2.4.2 系统调试 .....	23
2.5 系统测试.....	25

2.5.1	嵌入式系统的测试方法 .....	26
2.5.2	嵌入式系统的测试工具 .....	27
2.5.3	嵌入式系统的测试策略 .....	28
2.6	系统维护 .....	28
	习题 .....	29
<b>第3章</b>	<b>嵌入式处理器 .....</b>	<b>30</b>
3.1	嵌入式系统的硬件组成 .....	30
3.1.1	处理器 .....	30
3.1.2	存储器 .....	32
3.1.3	附属电路与 I/O 模块 .....	34
3.1.4	调试接口 .....	35
3.2	嵌入式处理器 .....	37
3.2.1	嵌入式微处理器 .....	37
3.2.2	嵌入式微控制器 .....	37
3.2.3	数字信号处理器 .....	38
3.2.4	如何选择嵌入式处理器 .....	40
3.2.5	嵌入式处理器的发展 .....	41
3.3	SoC 嵌入式处理器 .....	42
3.4	典型的嵌入式处理器 .....	45
3.4.1	ARM 系列 .....	45
3.4.2	PowerPC 系列 .....	49
3.4.3	MC68HC12 系列 .....	50
3.4.4	ColdFire 系列 .....	50
3.4.5	x86 系列 .....	52
3.4.6	Intel 8051 系列微控制器 .....	53
3.4.7	Microchip 系列微控制器 .....	56
3.4.8	TI 公司 TMS320 系列 DSP .....	58
3.5	ARM 体系结构 .....	59
3.5.1	ARM 处理器的运行模式 .....	59
3.5.2	ARM 微处理器的工作状态 .....	60
3.5.3	ARM 支持的数据类型 .....	60
3.5.4	ARM 微处理器的寄存器组织 .....	61
3.5.5	ARM 微处理器的异常处理机制 .....	66
3.5.6	ARM 处理器的应用选型 .....	67
	习题 .....	68
<b>第4章</b>	<b>嵌入式系统的 I/O 模块 .....</b>	<b>70</b>
4.1	I/O 接口的基本结构 .....	70

4.1.1	I/O 接口电路的组成 .....	70
4.1.2	I/O 接口电路的编址方式 .....	71
4.1.3	I/O 接口电路的数据传送方式 .....	72
4.2	定时器/计数器 .....	74
4.2.1	内部结构 .....	75
4.2.2	基本操作 .....	76
4.2.3	应用实例 .....	79
4.3	LCD 接口 .....	80
4.3.1	内部结构 .....	80
4.3.2	基本操作 .....	83
4.3.3	应用实例 .....	84
4.4	通信接口 .....	85
4.4.1	UART 异步串行接口 .....	85
4.4.2	串行外设接口 .....	95
4.4.3	USB 接口 .....	100
4.4.4	以太网接口 .....	106
4.4.5	I <sup>2</sup> C 总线接口 .....	114
4.4.6	CAN 总线接口 .....	117
4.5	通用并行接口 .....	122
4.5.1	S3C44B0X I/O 功能概述 .....	122
4.5.2	应用实例 .....	123
4.5.3	并行接口标准 .....	124
4.6	中断接口 .....	125
4.6.1	中断源 .....	125
4.6.2	特殊功能寄存器 .....	126
4.6.3	中断优先级判断 .....	127
4.6.4	应用实例 .....	128
4.7	DMA 控制器 .....	128
4.7.1	简要说明 .....	129
4.7.2	BDMA 的寄存器 .....	130
4.7.3	BDMA 的结构 .....	130
4.7.4	BDMA 自动重装模式 .....	131
4.8	A/D 和 D/A 转换器 .....	131
4.8.1	内部结构 .....	132
4.8.2	基本操作 .....	132
4.8.3	应用实例 .....	133
4.9	其他接口 .....	134
	习题 .....	135



第 5 章 嵌入式系统的软件	136
5.1 嵌入式系统软件的开发方式	136
5.1.1 嵌入式系统的软件	136
5.1.2 软硬件结合的方式	136
5.2 嵌入式系统软件的结构	137
5.2.1 软件的层次结构	137
5.2.2 嵌入式软件分类	138
5.3 嵌入式 Linux 系统的软件	139
5.3.1 Linux 操作系统、中间件、应用层程序的关系	139
5.3.2 嵌入式 Linux 中的中间件	140
习题	144
第 6 章 嵌入式网络与协议栈	145
6.1 嵌入式网络	145
6.2 嵌入式系统的联网	146
6.2.1 网络连接方式	146
6.2.2 开放式系统互连模型	147
6.2.3 通信方式	149
6.3 基于网络的嵌入式系统设计	150
6.3.1 通信分析	150
6.3.2 系统性能分析	151
6.3.3 网络分配与调度	152
6.4 嵌入式 Internet	153
6.4.1 嵌入式 Internet 概述	153
6.4.2 嵌入式 Internet 的应用	153
6.4.3 嵌入式 Internet 的原理	154
6.4.4 嵌入式 TCP/IP	155
6.5 蓝牙技术	156
6.5.1 蓝牙技术及特点	156
6.5.2 蓝牙协议栈	158
习题	159
第 7 章 嵌入式操作系统	160
7.1 操作系统简介	160
7.2 嵌入式操作系统和实时系统	160
7.2.1 嵌入式系统的概念	160
7.2.2 实时操作系统的基本概念	161
7.2.3 嵌入式实时系统	162

7.2.4	嵌入式操作系统的功能	163
7.3	常用的嵌入式操作系统	164
7.3.1	嵌入式 Linux	164
7.3.2	VxWorks	165
7.3.3	Windows CE	166
7.3.4	Nucleus PLUS	166
7.3.5	$\mu$ C/OS-II	167
7.3.6	Symbian OS	167
7.3.7	QNX	167
7.4	$\mu$ C/OS-II 操作系统介绍	168
7.4.1	$\mu$ C/OS-II 操作系统的组织结构	168
7.4.2	$\mu$ C/OS-II 内核	170
7.4.3	$\mu$ C/OS-II 任务管理	172
7.4.4	$\mu$ C/OS-II 时间管理	176
7.4.5	$\mu$ C/OS-II 内存管理	178
7.4.6	$\mu$ C/OS-II 任务之间的通信与同步	179
	习题	185
<b>第 8 章</b>	<b>嵌入式 Linux 的开发环境</b>	<b>186</b>
8.1	嵌入式 Linux 开发环境综述	186
8.2	程序生成工具 GCC 工具链	187
8.2.1	GNU 工具	187
8.2.2	GCC 交叉编译工具集合的使用	189
8.2.3	C 语言库	201
8.2.4	ELF 文件格式	203
8.3	工程管理工具 make 和 Makefile	204
8.3.1	make 工具和 Makefile	205
8.3.2	Makefile 的实例	206
8.3.3	自动生成 Makefile	212
8.4	GDB 调试工具	214
8.4.1	GDB 调试在嵌入式系统中的应用	214
8.4.2	远程 GDB 调试	215
8.4.3	GDB 的安装与使用	216
8.4.4	使用 gdbstub 实现调试用户程序	218
8.4.5	使用 gdbserver 调试	220
8.5	主机开发环境设置	223
8.5.1	串口终端工具	224
8.5.2	TFTP	227
8.5.3	NFS	229

习题	230
<b>第 9 章 嵌入式 Linux 系统的组成和构建</b>	<b>231</b>
9.1 嵌入式 Linux 系统的结构	231
9.1.1 嵌入式 Linux 系统的组成	231
9.1.2 嵌入式 Linux 构建的基本工作	232
9.2 嵌入式 Linux 的 BootLoader	233
9.2.1 BootLoader 的开发要点	233
9.2.2 BootLoader 的结构	235
9.2.3 U-Boot 概述	236
9.2.4 U-Boot 的结构和使用	237
9.2.5 U-Boot 的生成和使用	240
9.2.6 U-Boot 的启动流程	245
9.2.7 U-Boot 的扩展	246
9.3 嵌入式 Linux 内核的构建	251
9.4 根文件系统	262
9.4.1 Linux 下的文件系统	262
9.4.2 嵌入式 Linux 的文件系统介绍	264
9.4.3 Linux 的根文件系统	267
习题	269
<b>第 10 章 嵌入式 Linux 系统内核原理和移植</b>	<b>271</b>
10.1 Linux 内核概述	271
10.1.1 Linux 内核的结构	271
10.1.2 ARM 处理器上运行的 Linux 系统	272
10.2 Linux 内核的移植工作	273
10.2.1 ARM-Linux 系统的移植	273
10.2.2 ARM-Linux 系统的初始化过程	274
10.2.3 压缩内核的入口	274
10.2.4 非压缩内核的入口	278
10.3 基于 S3C2410 的移植工作	281
10.3.1 移植的内容	281
10.3.2 处理器类型支持	282
10.3.3 中断系统的移植	284
10.3.4 定时器的移植	285
10.3.5 编译和配置选项	286
习题	287

<b>第 11 章 嵌入式 Linux 系统的驱动程序</b> .....	288
11.1 Linux 驱动程序的概念 .....	288
11.1.1 Linux 驱动程序的种类 .....	288
11.1.2 Linux 设备文件 .....	289
11.2 Linux 内核编程 .....	290
11.2.1 内存访问接口 .....	290
11.2.2 内核模块编写的注意事项 .....	291
11.2.3 内核模块的作用 .....	292
11.2.4 内核模块的编写 .....	293
11.3 Linux 驱动程序的编写基础 .....	294
11.3.1 驱动程序的框架 .....	294
11.3.2 驱动程序的基本操作 .....	299
11.3.3 驱动程序中使用中断 .....	300
11.3.4 竞态处理 .....	301
11.3.5 阻塞操作 .....	302
11.3.6 异步操作 .....	302
11.4 嵌入式 Linux 中的几种驱动程序 .....	303
11.4.1 内存设备驱动程序 .....	303
11.4.2 Misc 驱动程序框架 .....	305
11.4.3 帧缓冲驱动程序 .....	306
11.4.4 TTY 驱动程序 .....	308
11.4.5 回环块设备驱动程序 .....	309
11.4.6 MTD 驱动程序 .....	310
11.4.7 回环网络设备驱动 .....	312
习题 .....	313
<b>第 12 章 嵌入式系统的实现和调试</b> .....	314
12.1 嵌入式系统的实现 .....	314
12.2 嵌入式系统的软件测试 .....	317
12.2.1 测试的目的 .....	317
12.2.2 何时开始测试 .....	318
12.2.3 测试内容和测试方法 .....	319
12.2.4 测试实例的选择 .....	319
12.2.5 何时停止测试 .....	320
12.2.6 测试和维护 .....	320
12.2.7 评估测试的覆盖率 .....	321
12.2.8 性能测试 .....	323
12.3 嵌入式系统的调试 .....	324

12.3.1	模拟调试 .....	324
12.3.2	远程调试器与调试内核 .....	325
12.3.3	ROM 仿真器 .....	326
12.3.4	在线仿真器 .....	327
12.3.5	BDM .....	329
12.3.6	示波器、存储示波器和逻辑分析仪 .....	332
12.4	嵌入式系统设计中的若干问题 .....	335
12.4.1	功耗问题 .....	335
12.4.2	电磁兼容性问题 .....	339
	习题 .....	343

# 第 1 章 嵌入式系统概述

内容提要：

1. 嵌入式系统的概念
2. 嵌入式系统的发展
3. 嵌入式系统的特点
4. 嵌入式系统的组成
5. 嵌入式系统的分类
6. 嵌入式系统的应用

## 1.1 嵌入式系统的概念

现代社会已经步入一个信息化的时代,丰富多彩的数字化产品已经开始继 PC 之后成为信息处理的发展趋势。随着全球数字化、信息化的进程不断加快,嵌入式系统已经广泛渗透到军事、家用、工业、商业、办公、医疗等众多领域。

嵌入式技术的快速发展不仅使其成为当今计算机技术和电子技术的一个重要分支,同时也使计算机的分类从以前的“巨型计算机/大型计算机/小型计算机/微型计算机”变为“通用计算机/嵌入式计算机(即嵌入式系统)”。可以预言,嵌入式系统将成为后 PC 时代的主宰。

手机、机顶盒、数码相机、媒体播放器等嵌入式系统产品已经广泛地应用在人们的日常生活和工作中。然而,当谈论到什么是嵌入式系统时,许多人在概念上还比较模糊,往往不能给出一个简明扼要的正确定义。

嵌入式系统(Embedded System)是针对具体应用而定制的专用计算机系统。根据应用需求的变化,嵌入式系统的软、硬件可进行针对性的剪裁,以适应应用系统在功能、性能、功耗、成本、可靠性、环境适应性等方面的特殊要求。

嵌入式系统是计算机软件 and 计算机硬件集成在一起、并嵌入到应用对象内部的计算机系统。这种系统往往同应用对象技术,如通信技术、传感技术、信号处理技术、控制技术 etc 结合在一起,成为嵌入式系统应用对象的控制中枢。

嵌入式系统一般指非 PC 系统,它包括硬件和软件两个方面。硬件包括处理器(或微处理器)、存储器、I/O 器件和图形控制器等。软件包括操作系统和应用程序。操作系统控制应用程序与硬件的交互作用,完成多任务操作。应用程序控制系统的运作和行为,完成各种设计功能。

从本质上来说,嵌入式系统和嵌入式设备是有区别的。嵌入式系统是指一个比 PC 更加小型化的计算机系统,只是它通常被嵌入到应用设备或者应用系统中成为一个专用的计算机系统。嵌入式设备是指某一包含嵌入式系统的专用设备。通常,在典型的嵌入式设备中几乎感觉不到计算机系统的存在,人们日常所见的手机、数码相机、微波炉、电视机、洗衣

机等都属于嵌入式设备。

嵌入式系统比较常用的定义有以下三种。

### 1. IEEE(国际电气和电子工程师协会)的定义

**定义 1.1:** 嵌入式系统是用于控制、监视或者辅助操作机器和设备的装置。

### 2. 微机学会的定义

**定义 1.2:** 嵌入式系统是以嵌入式应用为目的的计算机系统,可分为系统级、板级、片级。

### 3. 一般定义

**定义 1.3:** 嵌入式系统是以应用为中心,以计算机技术为基础,软件硬件可裁剪,对功能、可靠性、成本、体积、功耗有特殊要求的专用计算机系统。

近年来,嵌入式计算机在应用数量上远远超过了各种通用计算机,嵌入式系统的研究人员纷纷在科学研究、工程设计、消费电子以及军事技术等领域的产品创新设计方面采用灵活、高效和高性价比的嵌入式解决方案。嵌入式系统正在逐步渗透到人类社会的各个领域,人们身边无所不在的嵌入式应用构成了无所不在的计算时代。例如,一台通用计算机的外部设备中一般包含多个嵌入式微处理器,软驱、硬盘、显示器、调制解调器、打印机、扫描仪等均由嵌入式处理器控制。在制造工业、过程控制、通信、仪器、仪表、汽车、船舶、航空、航天、消费类电子产品、军事装备等领域,产品配套使用的嵌入式系统均占有举足轻重的产值份额。

## 1.2 嵌入式系统的发展

嵌入式系统出现至今,其数量已经远远超过了以 PC 为代表的通用计算机。只是嵌入式系统一般集成在设备内部,不像 PC 那样本身是一个配备了显示器、键盘、鼠标的独立系统,并且人们在使用设备时,往往在意的是设备提供的功能,而忽略了在设备内部起着核心作用的嵌入式系统。实际上,设备的所有功能都是由系统内部的嵌入式计算机完成的。另一方面,随着计算机、通信、消费电子的一体化趋势日益明显,嵌入式技术已经成为一个研究热点。本节介绍嵌入式系统的产生、发展历史以及发展趋势。

### 1.2.1 嵌入式系统的产生

早期计算机由电子管组成,体积庞大,主要用于完成复杂的计算任务。在其后漫长的历史进程中,电子管计算机始终放置在特殊的机房中,作为实现复杂计算的大型昂贵设备。随着晶体管计算机的出现,尤其是集成电路在计算机中的应用,计算机体积越来越小、性能越来越强,除了进行数值计算外,计算机还可以实现数据采集、信息处理、自动控制等功能。基于高速数值解算能力的微型计算机,表现出的智能水平引起了控制专业人士的兴趣,要求将

微型计算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,将微型计算机安装到大型舰船中构成自动驾驶仪或轮机状态检测系统。将专门设计的这种计算机集成到传统设备中,可显著提高设备的性能。但同时,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,这种嵌入到对象体系中用于实现对象体系智能化控制的计算机,被称作嵌入式计算机系统。此时,嵌入式系统应运而生。

### 1.2.2 嵌入式系统的发展历史

纵观嵌入式技术的发展过程,大致经历了4个阶段。

#### 1. 以单芯片为核心的可编程控制器形式的系统

这类系统具有与监测、伺服、指示设备相配合的功能,主要应用于一些专业性强的工业控制系统中,一般没有操作系统的支持,通过汇编语言编程对系统进行直接控制。这一阶段系统的主要特点如下。

- (1) 系统结构和功能相对单一。
- (2) 处理效率低。
- (3) 存储容量小。
- (4) 几乎没有用户接口。

由于这种嵌入式系统使用简单、价格低,因此在国内工业领域应用较为普遍,但是这类系统远不能适应需要大容量存储介质、友好的人机交互界面、远距离或无线通信的高性能现代工业控制和后PC时代新兴的信息家电等领域的需求。

#### 2. 以嵌入式CPU为基础、以简单操作系统为核心的嵌入式系统

这种嵌入式系统的主要任务是提高应用对象的智能化水平,如智能化仪器仪表、智能化家电等。这一阶段系统的主要特点如下。

- (1) CPU种类繁多,通用性较弱。
- (2) 系统开销小,效率高。
- (3) 操作系统达到一定的兼容性和扩展性。
- (4) 应用软件较专业化,但用户界面不够友好。

#### 3. 以嵌入式操作系统为标志的嵌入式系统

这类系统是人们现在通常所说的典型的嵌入式系统,它能满足日益复杂的应用需求。这一阶段系统的主要特点如下。

- (1) 操作系统的兼容性好,能运行于各种不同类型的微处理机上。
- (2) 操作系统内核小、效率高,并且具有高度的模块化和扩展性。
- (3) 具备文件和目录管理、多任务、网络支持、图形窗口以及用户界面等功能。
- (4) 具有大量的应用程序接口API,开发应用程序较简单。
- (5) 嵌入式应用软件丰富。

然而,这类系统在通用性、兼容性和扩展性方面仍有待改进。



#### 4. 以互联网为标志的嵌入式系统

这是一个正在迅速发展的阶段。目前已有不少系统采用了与互联网相结合的技术,例如手机、PDA、掌上电脑等移动设备,但大多数嵌入式系统还孤立于互联网之外。随着互联网的发展以及互联网技术与信息家电、工业控制技术结合日益密切,嵌入式设备与互联网的结合将代表嵌入式系统的未来。

### 1.2.3 嵌入式系统的发展趋势

以信息家电为代表的互联网时代的嵌入式产品,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新的挑战。嵌入式的发展趋势主要有4个方面。

#### 1. 应用软件的开发需要强大的开发工具和操作系统的支持

随着互联网技术的成熟和传输带宽的提高,网上提供的信息日趋丰富,应用项目越来越多。在未来的日常生活中,嵌入式系统不仅存在于电视机、洗衣机、冰箱、手机里,甚至连人们穿的鞋子、戴的帽子、穿的衣服也可能装备了嵌入式系统。因此,嵌入式系统的功能不再简单。为了满足功能升级,在设计上一方面采用功能更加强大的嵌入式处理器(如32位、64位RISC芯片)或DSP来增强处理能力,另一方面还采用实时多任务编程技术和交叉参考工具技术等来控制功能的复杂性,简化应用程序设计,保障软件质量和缩短开发周期。

#### 2. 为设备网络通信提供标准接口

为了适应嵌入式分布处理结构和上网应用需求,对嵌入式系统要求配备标准的一种或多种网络通信接口。针对外部联网的要求,嵌入设备的通信接口需要TCP/IP协议族软件的支持;针对家用电器的相互关联以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IEEE1394、USB、蓝牙(Bluetooth)、IrDA等通信接口,同时也需要提供相应的通信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。

#### 3. 支持小型电子设备实现小尺寸、低功耗和低成本

为了满足小型电子设备尺寸小、功耗小以及成本低特性,要求嵌入式产品相应降低处理器的性能,限制内存容量和复用接口芯片,这样就相应提高了对嵌入式软件设计的技术要求。因此,需要发展先进的嵌入式软件技术,如Java、Web和无线应用协议。

#### 4. 提供精巧的多媒体人机界面

为了提高嵌入式设备与使用者之间的亲和力,需要提供友好的用户界面。目前一些功能较强的手机、PDA等设备在显示屏幕上已实现汉字写入、短消息语音发布等功能,但人们的需求是无止境的,例如希望在小巧的嵌入式设备上实现语言同声翻译、语音拨号上网等功能,还有很多工作要做,特别是提供以图形用户界面为中心的多媒体人机界面,将会有巨大