



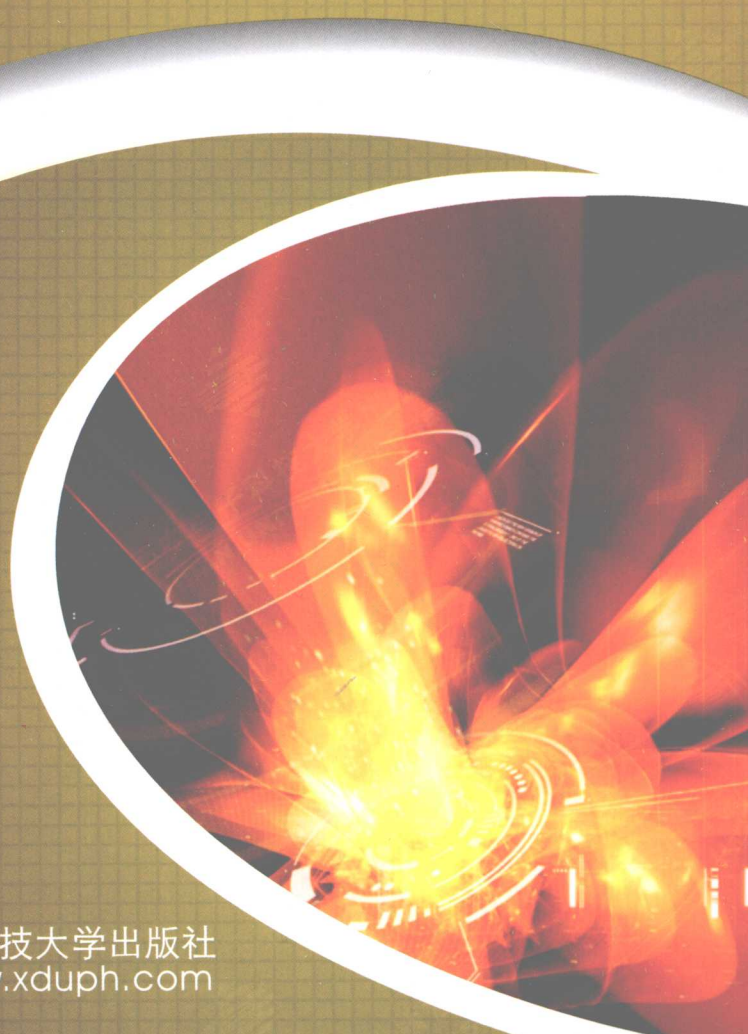
高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材

嵌入式系统设计与开发

章坚武 李 杰 编著
姚英彪 李 骆 杰 懿



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>



高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材

（内容提要）

嵌入式系统设计与开发

章坚武 李杰 姚英彪 骆懿 编著

西安电子科技大学出版社

2009

内 容 简 介

本书系统地介绍了嵌入式软/硬件系统的组成、工作原理、设计流程和方法。全书共 10 章, 主要内容包括嵌入式系统设计基础、嵌入式系统的设计方法、ARM 体系结构及指令系统、基于 S3C2410 的硬件电路设计、嵌入式 Linux 操作系统、嵌入式 Linux 系统的 Boot Loader 设计、嵌入式 Linux 程序设计基础、嵌入式 Linux 系统的驱动开发、嵌入式网络程序设计和嵌入式 Linux 图形用户界面编程等。

本书可作为高等院校电子与通信类专业的教材, 也可作为电子与通信领域的科研及工程技术人员的参考书。

★本书配有电子教案, 需要者可登录出版社网站, 免费下载。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式系统设计与开发 / 章坚武等编著. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2009.8

高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5606-2298-9

I. 嵌… II. 章… III. ① 微型计算机—系统设计—高等学校—教材

② 微型计算机—系统开发—高等学校—教材 IV. TP360.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 101021 号

策 划 毛红兵

责任编辑 王 瑛 毛红兵

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

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@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 2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 16.875

字 数 392 千字

印 数 1~4000 册

定 价 24.00 元

ISBN 978-7-5606-2298-9/TN · 0525

XDUP 2590001-1

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。

西安电子科技大学出版社
高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材
编审专家委员会名单

主任：杨震（南京邮电大学校长、教授）

副主任：张德民（重庆邮电大学通信与信息工程学院副院长、教授）

秦会斌（杭州电子科技大学电子信息学院院长、教授）

通信工程组

组长：张德民（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

王晖（深圳大学信息工程学院副院长、教授）

巨永锋（长安大学信息工程学院副院长、教授）

成际镇（南京邮电大学通信与信息工程学院副院长、副教授）

刘顺兰（杭州电子科技大学通信工程学院副院长、教授）

李白萍（西安科技大学通信与信息工程学院副院长、教授）

张邦宁（解放军理工大学通信工程学院卫星系系主任、教授）

张瑞林（浙江理工大学信息电子学院院长、教授）

张常年（北方工业大学信息工程学院院长、教授）

范九伦（西安邮电学院信息与控制系系主任、教授）

姜兴（桂林电子科技大学信息与通信学院副院长、教授）

姚远程（西南科技大学信息工程学院副院长、教授）

康健（吉林大学通信工程学院副院长、教授）

葛利嘉（中国人民解放军重庆通信学院军事信息工程系系主任、教授）

电子信息工程组

组长：秦会斌（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

王荣（解放军理工大学通信工程学院电信工程系系主任、教授）

朱宁一（解放军理工大学理学院基础电子学系系主任、工程师）

李国民（西安科技大学通信与信息工程学院院长、教授）

李邓化（北京信息工程学院信息与通信工程系系主任、教授）

吴谨（武汉科技大学信息科学与工程学院电子系系主任、教授）

杨马英（浙江工业大学信息工程学院副院长、教授）

杨瑞霞（河北工业大学信息工程学院院长、教授）

张雪英（太原理工大学信息工程学院副院长、教授）

张彤（吉林大学电子科学与工程学院副院长、教授）

张焕君（沈阳理工大学信息科学与工程学院副院长、副教授）

陈鹤鸣（南京邮电大学光电学院院长、教授）

周杰（南京信息工程大学电子与信息工程学院副院长、教授）

欧阳征标（深圳大学电子科学与技术学院副院长、教授）

雷加（桂林电子科技大学电子工程学院副院长、教授）

项目策划：毛红兵

策划：曹映 寇向宏 杨英 郭景

前 言

当前，嵌入式系统已经在各行各业中得到了广泛应用，如科学研究、工业制造与控制、交通与通信、仪器仪表、汽车电子、医疗卫生、国防军事、消费娱乐等应用领域。今天，几乎所有的电子设备里面都有嵌入式系统的影子。可以说，嵌入式系统和嵌入式技术无处不在，它们已成为计算机应用中最具活力的一部分。因此，研究和开发嵌入式系统及其产品已成为当前热点之一。

本书是作者在杭州电子科技大学为硕士研究生和高年级本科生开设的“嵌入式系统设计”课程讲稿的基础上，根据多年的教学和科研实践心得修改而成的。对于广大高等院校高年级学生和硕士研究生而言，本书是一本学习嵌入式系统开发的教材；对于从事嵌入式系统开发的工作者而言，本书是一本实用的参考书。本书在编写时，充分考虑了嵌入式开发过程中不同层次读者的要求，努力做到以下3点：

(1) 内容紧凑。每章首先给出基本概念和基本理论，然后理论联系实际，给出实际的参考例子和解释，叙述上力求简明扼要，由浅入深。

(2) 覆盖面广。本书不仅系统地介绍了嵌入式软/硬件系统的组成和工作原理，还详细地阐述了嵌入式软/硬件系统的设计流程和方法。

(3) 实践性强。本书兼顾教学和科研的需要，既有丰富的基本理论知识介绍，也有大量的实践实例，这些都是作者多年从事嵌入式产品开发和科研项目的实践经验的总结，具有参考意义和实用价值。

全书分为10章：第1章介绍了嵌入式系统的定义、特点、发展与应用，以及嵌入式处理器、嵌入式操作系统的分类和典型代表；第2章介绍了嵌入式系统的层次结构、设计流程和方法；第3章以ARM处理器为实例，介绍了ARM处理器的体系结构和指令系统，以及基于ARM体系的汇编程序设计方法；第4章以三星S3C2410处理器为例，详细叙述了嵌入式硬件系统的工作原理和设计方法，并给出了实际的硬件电路设计；第5章介绍了嵌入式Linux操作系统的基本理论，特别是其五大重要职能——进程管理、内存管理、文件系统管理、设备管理以及进程间通信机制；第6章介绍了嵌入式系统的Boot Loader基本概念，以及基于S3C2410开发板的Boot Loader的具体实现；第7章介绍了Linux编程环境的构建和编程技术，以及面向嵌入式软件开发的交叉编译调试环境的建立和应用；第8章介绍了Linux下设备驱动程序的基本概念以及开发过程，分析了3个驱动程序实例；第9章介绍了嵌入式以太网基础知识和接口设计，以及Linux操作系统下的网络编程实例；第10章介绍了嵌入式图形用户界面的基本架构及其底层支持库和高级函数库，重点介绍了基于Qt/Embedded的图形用户界面的编程方法。

本书由章坚武教授(博士)担任主编，各章编写工作主要由章坚武教授、李杰讲师、姚英

彪副教授、骆懿讲师、汪斌讲师完成，参与编写的还有硕士研究生高锋、唐兵、刘凤忠、应瑛、王钰婷、钟明明、李峥、韩畅等。章坚武教授和姚英彪副教授负责全书的统稿工作。

本书在编写过程中参考了一些相关文献和资料，在此对所引用到的文献和资料的作者深表谢意。

在本书的编写过程中，我们尽量保证书中内容特别是实例的正确性，但由于时间仓促，加之作者水平有限，书中难免存在不足之处，还望各位专家和读者批评指正。有关本书的任何咨询都可以通过 E-mail(jwzhang@hdu.edu.cn)与作者联系。

作者

2009年5月

目 录

第 1 章 嵌入式系统设计基础	1
1.1 嵌入式系统简介.....	1
1.1.1 现代计算机的发展历程.....	1
1.1.2 嵌入式系统的定义和特点.....	2
1.1.3 嵌入式系统的组成.....	2
1.1.4 嵌入式系统的应用模式.....	4
1.1.5 嵌入式系统的现状和发展方向.....	4
1.2 嵌入式处理器.....	5
1.2.1 嵌入式处理器的分类.....	5
1.2.2 ARM 微处理器.....	7
1.2.3 PowerPC、MIPS 及 X86 架构.....	8
1.3 嵌入式操作系统.....	9
1.3.1 嵌入式操作系统的概念和分类.....	9
1.3.2 嵌入式操作系统的特点.....	11
1.3.3 典型嵌入式操作系统.....	12
练习题.....	14
第 2 章 嵌入式系统的设计方法	16
2.1 嵌入式系统的层次结构.....	16
2.1.1 硬件层.....	17
2.1.2 中间层.....	17
2.1.3 软件层.....	18
2.1.4 功能层.....	18
2.2 嵌入式系统的设计流程.....	19
2.2.1 需求分析.....	19
2.2.2 规格说明.....	20
2.2.3 体系结构设计.....	21
2.2.4 软/硬件构件设计.....	21
2.2.5 系统集成.....	22
2.3 嵌入式系统设计流程模型.....	23
2.3.1 瀑布模型.....	23
2.3.2 逐步求精模型.....	23
2.3.3 螺旋模型.....	24

2.3.4 其他模型.....	25
2.4 嵌入式系统的调试与测试.....	26
2.4.1 嵌入式系统开发的辅助工具.....	26
2.4.2 嵌入式系统的调试.....	27
2.4.3 嵌入式系统的测试.....	28
练习题.....	30
第3章 ARM 体系结构及指令系统.....	31
3.1 ARM 微处理器的体系结构.....	31
3.1.1 ARM 指令集体系结构的版本及变种.....	31
3.1.2 ARM 微处理器系列产品分类及性能.....	33
3.1.3 ARM 微处理器体系结构.....	35
3.1.4 ARM 体系的异常中断.....	40
3.2 指令系统.....	42
3.2.1 ARM 指令编码格式与条件码.....	42
3.2.2 ARM 指令集的寻址方式.....	43
3.2.3 ARM 指令系统的分类.....	45
3.2.4 Thumb 指令.....	49
3.3 基于 ARM 体系的汇编语言程序设计.....	50
3.3.1 ARM 汇编器所支持的伪指令.....	50
3.3.2 汇编语言的语句格式.....	52
3.3.3 汇编语言的程序结构及子程序调用.....	54
3.3.4 ARM 集成开发环境 ADS 的使用.....	59
练习题.....	65
第4章 基于 S3C2410 的硬件电路设计.....	66
4.1 基于微处理器的嵌入式系统的硬件设计.....	66
4.1.1 微处理器芯片选型的一般原则.....	66
4.1.2 多路时钟电路的设计.....	68
4.1.3 电源电路的设计.....	69
4.1.4 系统复位电路的设计.....	72
4.2 存储系统的分析与设计.....	73
4.2.1 存储器的分类.....	74
4.2.2 S3C2410 存储系统的构成分析.....	76
4.2.3 S3C2410 存储器系统的设计.....	78
4.3 通用 I/O 接口的设计.....	85
4.3.1 中断接口概述.....	85
4.3.2 RS-232-C 串行接口的设计.....	89
4.3.3 USB 接口电路的设计.....	91
4.3.4 JTAG 接口.....	91
4.3.5 A/D 转换接口.....	93

4.3.6	以太网接口.....	93
4.4	人机交互接口.....	95
4.4.1	显示接口.....	95
4.4.2	触摸屏接口.....	98
	练习题.....	99
第 5 章	嵌入式 Linux 操作系统	100
5.1	Linux 及其应用.....	100
5.1.1	Linux 与 Unix 和 GNU.....	100
5.1.2	Linux 的特点.....	102
5.1.3	Linux 的发展及应用.....	104
5.2	嵌入式 Linux 内核.....	105
5.2.1	嵌入式 Linux 的内核特征.....	105
5.2.2	进程管理.....	106
5.2.3	内存管理.....	108
5.2.4	文件系统管理.....	109
5.2.5	设备管理.....	110
5.2.6	进程间通信机制.....	111
5.3	嵌入式 Linux 文件系统.....	113
5.3.1	嵌入式文件系统介绍.....	113
5.3.2	Linux 文件系统概述.....	113
5.3.3	嵌入式 Linux 常用文件系统.....	113
5.3.4	嵌入式 Linux 文件系统框架和特性.....	115
5.4	典型嵌入式 Linux 系统.....	117
5.4.1	μ CLinux.....	117
5.4.2	RT-Linux.....	117
5.4.3	MontaVista Linux.....	118
5.4.4	RTAI.....	118
	练习题.....	119
第 6 章	嵌入式 Linux 系统的 Boot Loader 设计	120
6.1	Boot Loader 的基本概念.....	120
6.1.1	Boot Loader 所支持的 CPU 和嵌入式板.....	120
6.1.2	Boot Loader 的安装媒介.....	120
6.1.3	用于控制 Boot Loader 的设备或机制.....	121
6.1.4	Boot Loader 的启动过程.....	121
6.1.5	Boot Loader 的操作模式.....	121
6.1.6	Boot Loader 与主机之间的文件传输协议.....	121
6.2	基于 S3C2410 开发板的 Boot Loader 的具体实现.....	122
6.2.1	系统启动流程的设计.....	122
6.2.2	Boot Loader 的具体实现.....	123

练习题.....	130
第 7 章 嵌入式 Linux 程序设计基础.....	131
7.1 嵌入式 Linux 开发基础.....	131
7.1.1 嵌入式 Linux 开发步骤.....	131
7.1.2 嵌入式 Linux 的安装.....	131
7.1.3 开发工具的配置.....	136
7.2 Linux 的常用工具.....	137
7.2.1 Shell 编程.....	137
7.2.2 常用 Shell 命令.....	139
7.2.3 Shell 编程实例.....	145
7.2.4 程序编辑器.....	148
7.3 嵌入式 Linux 操作系统的开发工具.....	151
7.3.1 编译器 GCC.....	151
7.3.2 Makefile.....	154
7.3.3 调试器 GDB.....	157
7.3.4 二进制代码工具.....	159
7.4 交叉开发环境.....	159
7.4.1 交叉开发环境介绍.....	159
7.4.2 应用程序的远程交叉调试.....	161
练习题.....	163
第 8 章 嵌入式 Linux 系统的驱动开发.....	164
8.1 Linux 下的设备驱动程序简介.....	164
8.1.1 设备驱动程序的概念.....	164
8.1.2 驱动设备的分类.....	165
8.1.3 设备文件.....	165
8.1.4 主设备号和次设备号.....	166
8.1.5 Linux 设备驱动程序结构.....	166
8.2 设备驱动程序的开发过程.....	168
8.2.1 模块化驱动程序设计.....	168
8.2.2 字符设备注册和初始化.....	169
8.2.3 中断管理.....	170
8.2.4 设备驱动开发的基本函数.....	171
8.3 串口驱动程序设计.....	172
8.3.1 终端设备和控制台.....	172
8.3.2 Linux 串口驱动程序分析.....	173
8.4 LCD 驱动程序设计分析.....	176
8.4.1 LCD 控制器.....	176
8.4.2 framebuffer 设备驱动程序分析.....	176
8.4.3 LCD 驱动开发的主要工作.....	178

8.5 中断处理.....	181
8.5.1 中断程序分析.....	181
8.5.2 一个简单的中断处理程序.....	182
练习题.....	183
第9章 嵌入式网络程序设计	184
9.1 嵌入式以太网基础知识.....	184
9.1.1 以太网介绍及其嵌入式应用.....	184
9.1.2 嵌入式系统中主要处理的网络协议.....	187
9.2 以太网接口设计.....	188
9.2.1 网络设备驱动程序基本结构及功能.....	188
9.2.2 以太网控制器 CS8900A.....	190
9.2.3 基于 CS8900A 的网络驱动程序实例.....	193
9.3 Linux 网络编程实现.....	202
9.3.1 socket 基本函数.....	202
9.3.2 TCP 编程实例.....	216
练习题.....	233
第10章 嵌入式 Linux 图形用户界面编程	234
10.1 Linux 图形开发基础.....	234
10.1.1 GUI 的一般架构.....	234
10.1.2 嵌入式 GUI 底层支持库.....	235
10.1.3 嵌入式 GUI 高级函数库.....	237
10.2 嵌入式 Linux 图形用户界面简介.....	238
10.2.1 Qt/Embedded.....	238
10.2.2 MicroWindows.....	239
10.2.3 MiniGUI.....	239
10.2.4 OpenGUI.....	240
10.3 Qt/Embedded 嵌入式图形开发基础.....	240
10.3.1 Qt/Embedded 概述.....	240
10.3.2 创建 Qt/Embedded 开发环境.....	244
10.3.3 Qt/Embedded 的使用.....	245
10.3.4 开发实例：基于 PC 的简单程序.....	255
练习题.....	256
参考文献	257

第1章 嵌入式系统设计基础



本章主要介绍嵌入式系统的一些基础知识,如嵌入式系统的定义和特点、嵌入式系统的组成、嵌入式系统的应用模式等;同时还介绍几种嵌入式处理器和嵌入式操作系统。

1.1 嵌入式系统简介

目前,在嵌入式系统应用领域中,有些人对嵌入式系统不甚了解,因此,下面我们先从现代计算机的发展历程来了解嵌入式系统的由来,从其本质特点来探讨嵌入式系统较为准确的定义。

1.1.1 现代计算机的发展历程

1. 始于微型机时代的嵌入式应用

早期的计算机和嵌入式系统的出现始于微型机时代的嵌入式应用。电子数字计算机诞生于1946年,在其后漫长的历史进程中,计算机始终是安装在特殊的机房中,实现数值计算的大型昂贵设备。直到20世纪70年代微处理器的出现,计算机才出现了历史性的变化。以微处理器为核心的微型计算机以其体积小、成本低、可靠性高等特点,迅速走出机房;基于高速数值计算能力的微型机,表现出的智能化水平引起了控制专业人士的兴趣,通过将微型机嵌入到一个对象系统中,实现对象系统的智能化控制。例如,将微型计算机经电气加固、机械加固,并配置各种外围接口电路,安装到大型舰船中构成自动驾驶仪或轮机状态监测系统。这样一来,计算机便失去了原来的形态与通用的功能。为了区别于原有的通用计算机系统,把嵌入到对象系统中,实现对对象系统智能化控制的计算机称做嵌入式计算机系统,简称嵌入式系统。因此,嵌入式系统诞生于微型机时代,其嵌入性本质是将一个计算机嵌入到一个对象系统中,这是理解嵌入式系统的基本出发点。

2. 现代计算机技术的两大分支

由于嵌入式系统要嵌入到对象系统中,实现的是对对象的智能化控制,因此,它有着与通用计算机系统完全不同的技术要求和技术发展方向。

通用计算机系统的技术要求是高速、海量的数值计算;技术发展方向是速度的无限提升,存储容量的无限扩大。而嵌入式系统的技术要求则是对对象的智能化控制能力;技术发展方向是与对象系统密切相关的嵌入性能、控制能力和控制的可靠性。

早期,人们想通过对通用计算机系统进行改装,在大型设备中实现嵌入式应用。然而,众多的对象系统(如家用电器、仪器仪表、工控单元等)都无法嵌入通用计算机系统,而且嵌

入式系统与通用计算机系统的技术发展方向完全不同。因此，必须独立地发展通用计算机系统与嵌入式系统，这就形成了现代计算机技术发展的两大分支。

如果说微型机的出现使计算机进入到现代计算机发展阶段，那么嵌入式系统的诞生，则标志着计算机进入了通用计算机系统与嵌入式系统两大分支并行发展的时代。

3. 两大分支的发展

20 世纪末、21 世纪初，通用计算机系统与嵌入式系统的专业化分工发展促进了计算机技术的飞速发展。计算机专业领域集中精力发展通用计算机系统的软、硬件技术，不必兼顾嵌入式应用要求，通用微处理器迅速从 286、386、486 发展到奔腾系列，操作系统则迅速扩展了计算机对高速、海量的数据文件的处理能力，使通用计算机系统达到一个新的高度。

嵌入式系统则走上了一条完全不同的道路，这条独立发展的道路就是单芯片化道路。它动员了原有的传统电子系统领域的厂家与专业人士，接过起源于计算机领域的嵌入式系统，承担起发展与普及嵌入式系统的历史任务，迅速地将传统的电子系统发展到智能化的现代电子系统时代。

因此，现代计算机技术的两大分支的意义在于：它不仅形成了计算机技术的专业化分工，而且将发展计算机技术的任务扩展到传统的电子系统领域，使计算机成为进入人类社会全面智能化时代的有力工具。

1.1.2 嵌入式系统的定义和特点

我们在了解了嵌入式系统的由来与发展后，按照历史性、本质性、普遍性要求，将嵌入式系统定义为“嵌入到对象系统中的专用计算机系统”。“嵌入性”、“专用性”与“计算机系统”是嵌入式系统的三个基本要素。对象系统则是指嵌入式系统所嵌入的宿主系统。

嵌入式系统的特点是由定义中的三个基本要素衍生出来的。不同的嵌入式系统，其特点会有所差异。

与“嵌入性”相关的特点：由于是嵌入到对象系统中的，因此必须满足对象系统的环境要求，如物理环境(小型)、电气环境(可靠)、成本(价廉)等要求。

与“专用性”相关的特点：软、硬件的裁减性；满足对象要求的最小软、硬件配置等。

与“计算机系统”相关的特点：嵌入式系统必须是能满足对象系统控制要求的计算机系统。与前两个特点相呼应，这样的计算机必须配置有与对象系统相适应的接口电路。

另外，在理解嵌入式系统定义时，不要与嵌入式设备相混淆。嵌入式设备是指内部有嵌入式系统的产品、设备，如内含单片机的家用电器、仪器仪表、工控单元、机器人、手机、PDA 等。

1.1.3 嵌入式系统的组成

从组成上看，嵌入式系统可分为嵌入式硬件系统与嵌入式软件系统两大部分，如图 1-1 所示。

嵌入式硬件系统主要由嵌入式处理器和外围接口电路及相关支撑硬件等组成。其中，嵌入式处理器在嵌入式硬件系统中处于核心地位，按照功能和用途划分，它可以进一步细

分为嵌入式微控制器、嵌入式微处理器、嵌入式数字信号处理器(DSP)和片上系统(SOC)等几种类型。

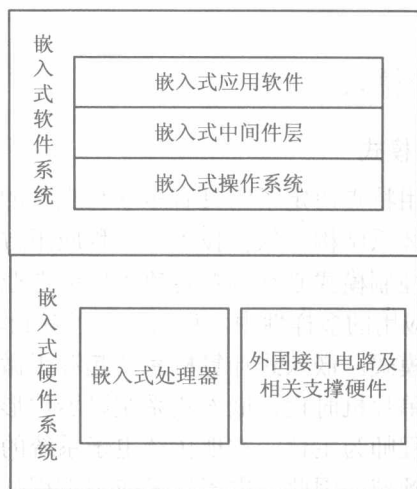


图 1-1 嵌入式系统的组成

嵌入式软件系统通常可划分为嵌入式操作系统和嵌入式应用软件两部分。在一些复杂的系统中，为了简化应用开发，还提供了一个中间层(嵌入式中间件层)。在早期的嵌入式系统中，系统的复杂性较低，这时的嵌入式系统通常不使用操作系统，而是由应用软件直接控制和管理硬件。例如，现在还大量存在的基于 8 位单片机的系统，一般仅完成单一的控制功能，其功能与硬件复杂度都较低，其软件通常只有一个简单的控制程序，在这类简单系统中没有使用操作系统的必要。随着技术的进步与复杂需求的出现，嵌入式系统进入了一个新的阶段，这个阶段的嵌入式系统硬件大多采用了 32 位的嵌入式 SOC(System on Chip) 芯片，软件系统则增加了嵌入式操作系统。

从图 1-1 中可以看出，操作系统处于上层软件与嵌入式硬件系统的中间，在整个嵌入式系统中处于重要的地位，起着至关重要的作用。它负责控制与管理嵌入式硬件系统，将硬件的复杂性隐藏起来，为上层软件设计提供一个统一、易用的应用程序编程接口，以降低应用软件开发复杂性。同时，作为嵌入式系统软、硬件资源的管理者，它负责系统软、硬件资源的调度与分配，保证系统资源被有效、合理地使用。总而言之，嵌入式操作系统的出现与使用是嵌入式系统发展过程中的一个重要的里程碑，它掩盖了底层硬件的复杂性，提高了软件的开发效率和软件的可维护性。

现代嵌入式系统(例如手机)的功能与硬件复杂度较原有的单片机系统大大提高，同时软件开发的复杂度也大大提高，这类复杂系统已无法使用原来单片机的开发方法来实现，其开发模式发生了很大的变化。原来单片机的开发通常是由一个电子工程师完成电路设计、单片机软件编程仿真和调试开发等工作；嵌入式系统的开发主要属于电子工程领域的开发，它主要的工作是硬件设计，软件的工作量并不大。而复杂的嵌入式系统的开发模式发生了极大的改变，不仅硬件系统的开发比单片机复杂了许多，更重要的是在该系统中采用了嵌入式操作系统，其应用软件的开发转变为使用操作系统标准接口的计算机工程领域的应用软件的开发。总之，复杂的嵌入式系统的开发模式已从原来单片机时代电子工程领域的开

发转变为电子工程和计算机工程的协同开发。一个复杂的嵌入式系统的开发不仅需要完成嵌入式硬件系统的开发，还需要完成嵌入式应用软件的开发，甚至需要嵌入式操作系统的定制与移植。

1.1.4 嵌入式系统的应用模式

1. 客观存在的两种应用模式

嵌入式系统的嵌入式应用特点决定了它具有多学科交叉的特点。作为计算机的内涵，要求计算机领域人员介入其体系结构、软件技术、工程应用方面的研究。然而，了解对象系统的控制要求，实现系统控制模式必须具备对象领域的专业知识。因此，从嵌入式系统发展的历史过程以及嵌入式应用的多样性中，我们可以了解到客观上形成的两种应用模式。

第一种是电子技术应用模式。嵌入式计算机系统起源于微型机时代，但很快就进入到独立发展的单片机时代。在单片机时代，嵌入式系统以器件形态迅速进入到传统电子技术领域中，以电子技术应用工程师为主体，实现传统电子系统的智能化，而计算机专业队伍并没有真正进入单片机应用领域。因此，电子技术应用工程师以自己习惯的电子技术应用模式，从事单片机的应用开发。这种应用模式最重要的特点是：软、硬件的底层性和随意性；对象系统专业技术的密切相关性；缺少计算机工程设计方法。

第二种是计算机技术应用模式。在单片机时代，计算机专业很少介入嵌入式系统领域，但随着后 PC 时代的到来，网络、通信技术得以发展；同时，嵌入式系统软、硬件技术有了很大的提升，为计算机专业人士介入嵌入式系统应用开辟了广阔天地。计算机专业人士的介入所形成的计算机应用模式带有明显的计算机的工程应用特点，即基于嵌入式系统软、硬件平台，以网络、通信为主的非嵌入式底层应用。

2. 两种应用模式的并存与互补

由于嵌入式系统最大、最广、最底层的应用是传统电子技术领域的智能化改造，因此，以通晓对象专业的电子技术队伍为主，用最少的嵌入式系统软、硬件开销，以 8 位机为主，带有浓重的电子系统设计色彩的应用模式会长期存在下去。另外，计算机专业人士会越来越多地介入嵌入式系统应用，但限于对象专业知识的缺乏，其应用领域会集中在网络、通信、多媒体、电子商务等方面，不可能替代原来电子工程师在控制、仪器仪表、机械电子等方面的嵌入式应用。因此，客观存在的两种应用模式会长期并存下去。对于电子技术应用模式，应从计算机技术应用模式中学习计算机工程方法和嵌入式系统软件技术；对于计算机技术应用模式，应从电子技术应用模式中了解嵌入式系统应用的电路系统特性、基本的外围电路设计方法和对象系统的基本要求等。

1.1.5 嵌入式系统的现状和发展方向

1. 嵌入式系统的现状

今天，嵌入式系统的应用数量上早已远远超过了各种通用计算机系统。嵌入式系统已经逐步渗透到人类社会的各个领域，在我们身边，嵌入式系统可谓无处不在。例如，手机，电视机顶盒，办公室中的扫描仪、打印机，工厂里的仪表、控制设备等，都用到了嵌入式

处理器。可以说,嵌入式系统在当今的社会中有着举足轻重的地位。

近年来,随着微电子技术的迅猛发展,处理器增长速度也随之加快,嵌入式系统领域发生了翻天覆地的变化,特别是网络的普及,嵌入式与互联网成为最热门的技术。现在,嵌入式系统可以具备网络功能,可以连接 Internet 或企业局域网,这种特性增强了嵌入式系统多方面的实用性。

2. 嵌入式系统的发展方向

嵌入式系统在未来具有广阔的发展前景,总的来说,它将向更高性能、更小体积、更低功耗、更低价格等方向发展。其设计和实现朝着基于芯片,特别是系统可编程芯片(SoPC)的方向发展。为了降低研制难度,人们将采用融微处理器技术、数字信号处理技术、可编程系统级芯片技术和软/硬件协同设计技术于一体的嵌入式系统设计方法。

今后,嵌入式系统的主要发展方向如下:

- (1) 开放式平台架构,便于与其他系统整合;
- (2) 体积更小,性能更稳定,成本更低廉;
- (3) 应用多元化,需要小批量、快速定制化的服务;
- (4) 嵌入式操作系统从可用型、通用型向可定制型、优化型转化;
- (5) 集成开发环境更加开放,抽象程度更高,调试更方便;
- (6) 嵌入式软件将以面向对象技术为基础,采用软件复用、基于组件及集成化计算机辅助软件工程互为协同的方法开发。

1.2 嵌入式处理器

1.2.1 嵌入式处理器的分类

嵌入式系统的核心部件是各种类型的嵌入式处理器。目前据不完全统计,全世界嵌入式处理器的品种总量已经超过 1000 种,流行体系结构有 30 多个系列,其中 8051 体系的占有多半。生产 8051 单片机的半导体厂家有 20 多个,共 350 多种衍生产品,仅 Philips 就有近 100 种。现在几乎每个半导体制造商都生产嵌入式处理器,越来越多的公司有自己的处理器设计部门。根据现状,嵌入式计算机可以分成下面几类。

1. 嵌入式微处理器(Embedded Microprocessor Unit, EMPU)

嵌入式微处理器有以下两种类型:

(1) 嵌入式系统中使用的通用处理器,它并不是专门用于嵌入式系统设计的,典型的代表有 X86 处理器(从 80186、80386 到 Pentium M)。例如,研扬科技公司生产的嵌入式主板 PCM830 里就用到了 Pentium M 处理器,该产品用于医疗器械和电力调度控制系统中。

(2) 专门为嵌入式系统设计的处理器,因为其运算器、寄存器和总线的位宽长,功耗低且含指令流水线,具有强大的计算能力,所以兼有许多通用处理器的特点,典型的代表有 Am186/88、386EX、SC-400、PowerPC、68000、MIPS、ARM 系列等。

2. 嵌入式微控制器(Embedded Microcontroller Unit, EMCU)

嵌入式微控制器又称单片机,顾名思义,就是将整个计算机系统集成到一块芯片中。嵌入式微控制器一般以某一种微处理器内核为核心,芯片内部集成 ROM/EPROM、RAM、总线、总线逻辑、定时/计数器、WatchDog、I/O、串行口、脉宽调制输出、A/D、D/A、Flash RAM、EEPROM 等各种必要功能和外设。为适应不同的应用需求,一般一个系列的单片机具有多种衍生产品,每种衍生产品的处理器内核都是一样的,不同的是存储器和外设的配置及封装。这样可以使单片机最大限度地和应用需求相匹配,功能不多不少,从而减少功耗和成本。

和嵌入式微处理器相比,微控制器的最大特点是单片化,体积大大减小,从而使功耗和成本下降、可靠性提高。微控制器是目前嵌入式系统工业的主流。微控制器的片上外设资源一般比较丰富,适合于控制,因此称微控制器。

嵌入式微控制器目前的品种和数量最多,比较有代表性的通用系列包括 8051、P51XA、MCS-251、MCS-96/196/296、C166/167、MC68HC05/11/12/16、68300 等。另外,还有许多半通用系列,如支持 USB 接口的 8XC930/931、C540、C541,支持 I²C、CAN-Bus、LCD 及众多专用和兼容系列。

特别值得注意的是,近年来提供 X86 微处理器的著名厂商 AMD 公司,将 Am186CC/CH/CU 等嵌入式处理器称为 Microcontroller, Motorola 公司把以 PowerPC 为基础的 PPC505 和 PPC555 亦列入单片机行列。TI(Texas Instruments)公司亦将其 TMS320C2XXX 系列 DSP 作为微控制器进行推广。

3. 嵌入式 DSP 处理器(Embedded Digital Signal Processor, EDSP)

DSP 处理器对系统结构和指令进行了特殊设计,使其适合于执行 DSP 算法,编译效率较高,指令执行速度也较快。在数字滤波、FFT、谱分析等方面,DSP 算法正在大量进入嵌入式领域,DSP 应用正在从通用单片机中以普通指令实现 DSP 功能过渡到采用嵌入式 DSP 处理器。嵌入式 DSP 处理器有两个发展来源:一是 DSP 处理器经过单片化、EMC 改造、增加片上外设成为嵌入式 DSP 处理器, TI 的 TMS320C2000 /C5000 等属于此范畴;二是在通用单片机或 SOC 中增加 DSP 协处理器,例如 Intel 的 MCS-296 和 Infineon(Siemens)的 TriCore。

推动嵌入式 DSP 处理器发展的另一个因素是嵌入式系统的智能化,例如各种带有智能逻辑的消费类产品,生物信息识别终端、带有加/解密算法的键盘、ADSL 接入、实时语音解压系统、虚拟现实显示等。这类智能化算法一般都是运算量较大,特别是向量运算、指针线性寻址等较多,而这些正是 DSP 处理器的长处所在。

嵌入式 DSP 处理器比较有代表性的产品是 TI 的 TMS320 系列和 Motorola 的 DSP56000 系列。TMS320 系列处理器包括用于控制的 C2000 系列、用于移动通信的 C5000 系列,以及性能更高的 C6000 和 C8000 系列。DSP56000 目前已经发展出 DSP56000、DSP56100、DSP56200 和 DSP56300 等几个不同系列的处理器。另外, Philips 公司也推出了基于可重置嵌入式 DSP 结构低成本、低功耗技术上制造的处理器,特点是具备双 Harvard 结构和双乘/累加单元,应用目标是大批量消费类产品。