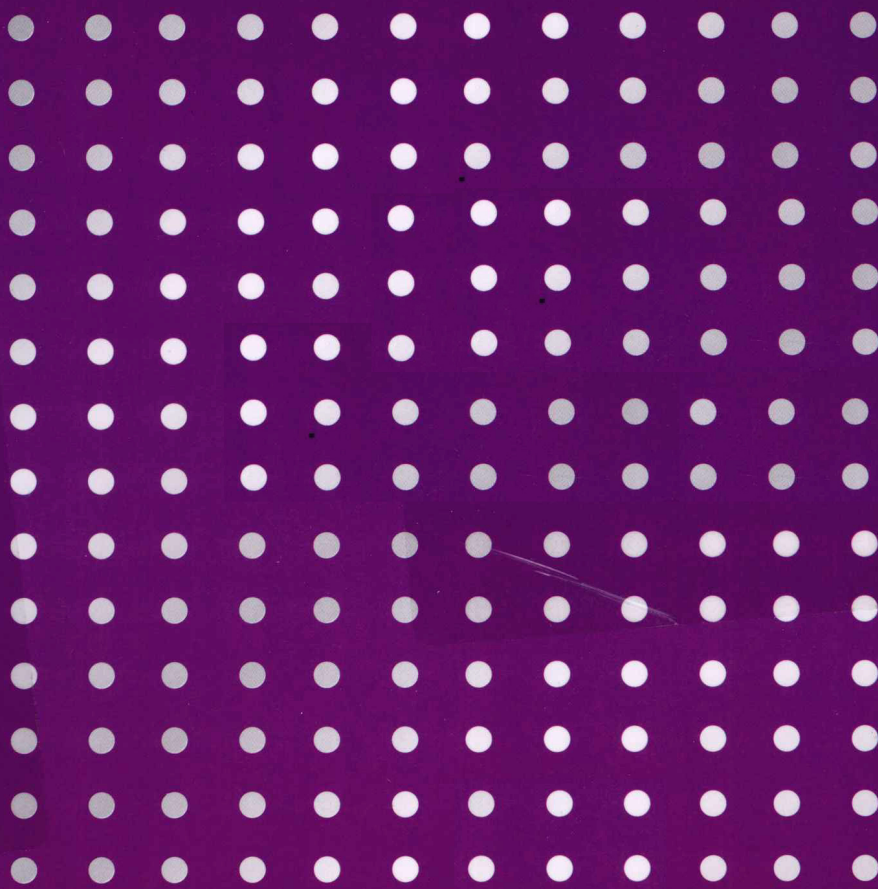


高等院校信息技术规划教材

嵌入式系统开发

李宥谋 刘钊远 马博 编著

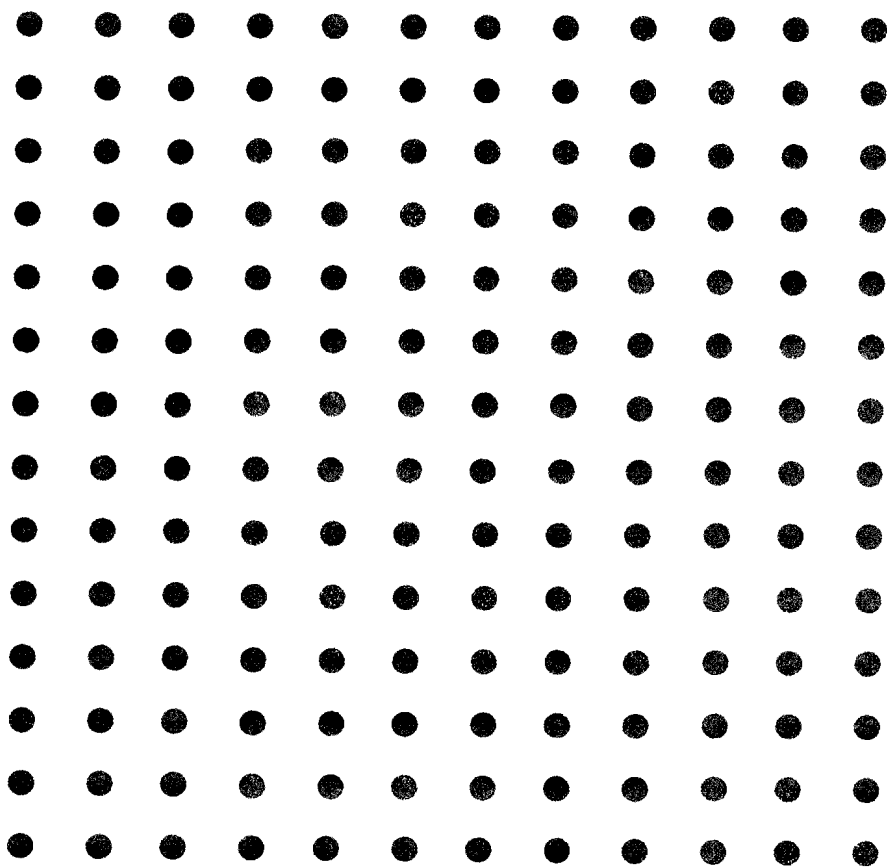


清华大学出版社

高等院校信息技术规划教材

嵌入式系统开发

李宥谋 刘钊远 马博 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书从教学出发,详细介绍了基于 ARM7 处理器的体系结构、编程模型、指令系统及汇编语言程序设计方法,同时以 NXP 公司的 LPC2000 系列微控制器为例,讨论了微控制器的基本组成和片上外设接口资源,以及嵌入式系统开发的相关知识,并举例阐述了嵌入式系统的开发过程。全书共分 9 章,内容包括嵌入式系统概述,ARM 技术及体系结构,ARM7TDMI 指令系统,ARM7 汇编语言程序设计,LPC2000 系列微处理器组成与中断技术,LPC2000 系列微处理器外设接口,ARM 系列芯片的外围电路设计,嵌入式软件开发技术和嵌入式系统设计及应用。

本书结构合理,概念清晰,深入浅出,可作为高等院校本科生或研究生开展嵌入式系统基础教学的教材,也是广大嵌入式系统设计爱好者入门学习的教材。

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

嵌入式系统开发/李宵谋等编著. —北京:清华大学出版社,2011.11

(高等院校信息技术规划教材)

ISBN 978-7-302-26882-6

I. ①嵌… II. ①李… III. ①微型计算机—系统开发—高等学校—教材
IV. ①TP360.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 191863 号

责任编辑:白立军 赵晓宁

责任校对:梁 毅

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,jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

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

印 刷 者:北京密云胶印厂

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260

印 张:24

字 数:567 千字

版 次:2011 年 11 月第 1 版

印 次:2011 年 11 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:39.00 元

产品编号:037577-01

前言

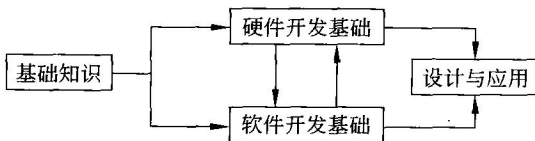
Foreword

随着信息化、智能化以及网络化的发展,嵌入式系统应用获得广阔的发展空间,市场对嵌入式系统的应用人才的需求越来越多。嵌入式系统属于多学科交叉的技术,综合了计算机、电子技术、微电子技术、集成电路设计等技术,要求设计者具备软硬件综合开发的能力,如何快速掌握嵌入式系统开发技术成为从业者面临的巨大挑战。为此,国内许多高校都开设了嵌入式系统课程,虽然嵌入式系统开发相关的书籍较多,但嵌入式系统应用非常广泛,现有教材难以满足高等院校中不同专业对嵌入式系统教学方面的要求。目前以 ARM 为核心的嵌入式技术逐渐成为嵌入式系统的主流,嵌入式系统学习要以应用为导向,在掌握嵌入式系统软硬件技术的基础上,注重理论和实践相结合,通过实际系统的应用使学习者能尽快掌握嵌入式系统开发的知识。

本教材是按照高等院校对嵌入式系统专业教学要求编写的,作者结合多年嵌入式系统的教学和科研经验编写而成。本书以最常用的 ARM7 处理器为主线,介绍了嵌入式系统的基本知识,系统的讲解了 ARM7 技术及体系结构、编程模型、指令系统及汇编语言程序设计以及中断与接口技术,从硬件、软件两个方面向读者阐述嵌入式系统的设计方法,并且通过设计实例深入浅出地介绍嵌入式系统开发过程和常用嵌入式系统的设计与实现。

本课程的实践性很强,只有在实践中不断总结、领会,才能加强巩固基础理论知识,建立嵌入式系统设计理念,才能在嵌入式系统设计的道路上走得更远。

授课老师可根据教学目标和课时重新安排教学内容。我们推荐了多种方式来排列教学内容,采用推荐的任何一种方式来阅读本书,都不失连贯性。也可以根据教学任务要求,进行有选择性的学习,可采用下面的建议调整各章的顺序。



(1) 基础知识：第1章、第2章、第3章和第4章。这4章介绍了嵌入式系统的基本概念、ARM7的体系结构、编程模式、指令系统和汇编程序设计方法。

(2) 硬件开发基础：第5章、第6章和第7章。这3章介绍了嵌入式系统的硬件组成及工作原理，并以NXP公司的LPC2000系列为例，详细阐述了微控制器的片上硬件资源、各种接口电路、存储器电路以及简单的嵌入式硬件系统。

(3) 软件开发基础：第8章，介绍了嵌入式系统的软件组成，重点介绍了硬件适配层的功能和实现方法，系统软件移植和软件开发流程。

(4) 设计与应用：第9章，以“停车场管理系统”开发过程为例，介绍嵌入式系统的总体设计、嵌入式Linux系统移植、嵌入式Web设计、嵌入式SQLite数据库开发、SNMP代理设计以及车库入口硬件电路设计。

本书由李宥谋主编，第1~第3、第9章和5.4节由李宥谋编写，5.1~5.3节、5.5节、5.6节和第6章由刘钊远编写，第4、第7和第8章由马博编写。

本书在编写过程中，得到了西安邮电学院计算机学院领导的热切关心，并得到有关教师多方面的帮助与鼓励；研究生杨清娜、殷嘉宾、冀博、汪君鹏对第9章内容进行了验证，在此一并表示感谢。

同时，本书的编写参考和引用了国内外同行、专家、学者所撰写的大量文献，借鉴了许多现行教材的宝贵经验，在此，谨向这些作者表示诚挚的感谢。

最后更要感谢我们的家人，她们的理解与支持使我们可以集中精力致力于热爱的嵌入式系统的教学与科研事业。

嵌入式系统是一门综合性强、知识面广、技术更新快的学科，由于作者水平有限，书中难免有疏漏之处，恳请读者批评指正。

有兴趣的读者，可以发电子邮件与作者进一步交流，联系方式如下：

李宥谋：lym138919@163.com。

刘钊远：lzy781@163.com。

马博：mab0124@sohu.com。

编 者

2011年8月

目录

Contents

第 1 章 嵌入式系统概述	1
1.1 引言	1
1.2 嵌入式系统的概述	2
1.2.1 嵌入式系统的定义	3
1.2.2 嵌入式系统组成	4
1.2.3 嵌入式系统的特点	6
1.2.4 嵌入式系统应用	7
1.3 嵌入式处理器	9
1.3.1 嵌入式处理器的组成	9
1.3.2 嵌入式处理器的分类	10
1.3.3 典型的嵌入式处理器	12
1.3.4 嵌入式处理器的性能指标	15
1.4 嵌入式操作系统	16
1.4.1 嵌入式操作系统简介	16
1.4.2 嵌入式操作系统的种类	17
1.4.3 实时操作系统的相关概念	19
1.4.4 几种典型的嵌入式操作系统	21
1.5 嵌入式系统开发	24
1.5.1 嵌入式系统开发过程	24
1.5.2 常用的设计流程模型	27
1.5.3 嵌入式系统的开发环境及调试方法	29
本章小结	32
习题 1	33
第 2 章 ARM 技术及体系结构	34
2.1 嵌入式 ARM 处理器概况	34
2.1.1 ARM 体系的版本说明	34



2.1.2	ARM 内核的命名	36
2.1.3	常用 ARM 处理器系列介绍	37
2.2	ARM 处理器技术	41
2.2.1	RISC 技术	41
2.2.2	流水线技术	42
2.2.3	哈佛结构	44
2.2.4	AMBA 总线技术	45
2.2.5	ARM 处理器的调试跟踪技术	47
2.3	ARM7 处理器结构	49
2.3.1	ARM7TDMI 内部构成	49
2.3.2	ARM7TDMI 内核结构	50
2.3.3	ARM7TDMI 处理器模块接口信号	51
2.3.4	ARM7xxT 模块功能图	52
2.4	ARM7TDMI 的工作状态及模式	52
2.4.1	ARM 处理器的工作状态	52
2.4.2	ARM 处理器模式	53
2.5	ARM7 内部寄存器	54
2.5.1	ARM 状态下的寄存器组织	55
2.5.2	Thumb 状态下的寄存器组织	58
2.5.3	程序状态寄存器	60
2.6	ARM 体系的异常处理	62
2.6.1	异常优先级	62
2.6.2	异常向量表	63
2.6.3	异常中断的进入与退出	63
2.6.4	ARM 中的异常处理	64
2.6.5	异常中断延时计算	67
2.7	ARM 体系的存储方式	68
2.7.1	数据存储格式	68
2.7.2	非对齐的存储器访问	69
	本章小结	70
	习题 2	71
第 3 章 ARM7TDMI 指令系统		72
3.1	ARM7TDMI 指令集概述	72
3.1.1	ARM 指令分类	72
3.1.2	指令格式	73
3.1.3	指令的条件域	75
3.1.4	第 2 个操作数的三种形式	76

3.2	ARM 指令的寻址方式	77
3.3	ARM 指令集介绍	81
3.3.1	数据处理指令	81
3.3.2	乘法指令	87
3.3.3	分支指令	90
3.3.4	程序状态寄存器访问指令	92
3.3.5	ARM 软中断指令	94
3.3.6	ARM 存储器访问指令	95
3.3.7	ARM 协处理器操作指令	103
3.3.8	ARM 伪指令	105
3.4	Thumb 指令集	108
3.4.1	Thumb 数据处理指令	109
3.4.2	Thumb 分支指令	110
3.4.3	Thumb 软中断指令	110
3.4.4	Thumb 存储器访问指令	111
	本章小结	112
	习题 3	113
第 4 章	ARM7 汇编语言程序设计	115
4.1	ARM7 汇编语言程序结构格式	115
4.1.1	汇编语言的基本概念	115
4.1.2	ARM7 汇编语言程序框架	117
4.2	ARM7 汇编语言程序中的符号	119
4.2.1	符号命名规则	119
4.2.2	常量	119
4.2.3	变量	120
4.3	ARM7 汇编器伪指令	120
4.3.1	符号定义伪指令	120
4.3.2	数据定义伪指令	121
4.3.3	ARM7 汇编控制伪指令	125
4.3.4	杂项汇编器伪指令	128
4.4	ARM7 汇编语言程序的上机过程	131
4.4.1	ARM7 汇编语言程序的设计步骤	131
4.4.2	编辑汇编语言源程序	132
4.4.3	联编汇编语言源程序	135
4.4.4	调试可执行映像文件	136
4.5	ARM7 汇编语言程序设计	137
4.5.1	汇编语言程序设计的步骤	137



4.5.2	顺序程序设计	139
4.5.3	分支程序设计	139
4.5.4	循环程序设计	142
4.5.5	子程序设计	147
4.6	C 语言和 ARM7 汇编语言的混合/交叉编程	149
4.6.1	ARM7 汇编语言与 C 语言间的模块接口	149
4.6.2	ARM7 汇编程序与 C 程序间变量互访	150
4.6.3	ARM7 汇编程序调用 C 程序	152
4.6.4	C 程序调用汇编程序	152
4.6.5	C 程序中内嵌 ARM7 汇编代码	154
	本章小结	155
	习题 4	155
第 5 章 LPC2000 系列微处理器组成与中断技术		157
5.1	LPC2000 系列 ARM 简介	157
5.1.1	LPC2100 系列芯片	158
5.1.2	LPC2200 系列芯片	158
5.2	芯片内部结构	162
5.3	存储器结构	163
5.3.1	存储器映射	163
5.3.2	片内存储器	164
5.3.3	片外存储器	165
5.3.4	存储器的重映射	166
5.3.5	系统启动代码简介	169
5.4	系统控制模块	170
5.4.1	时钟系统	170
5.4.2	功率控制	176
5.4.3	复位	178
5.5	中断技术	180
5.5.1	中断概念	180
5.5.2	中断源及管理	181
5.5.3	中断处理过程	183
5.6	向量中断控制器	184
5.6.1	向量中断分类	184
5.6.2	向量中断结构	185
5.6.3	向量中断寄存器	187
5.6.4	向量中断的处理过程	188
5.6.5	向量中断的示例	189

本章小结	191
习题 5	191
第 6 章 LPC2000 系列微处理器外设接口	192
6.1 引脚功能选择	192
6.1.1 管脚功能选择寄存器 PINSEL0 和 PINSEL1	192
6.1.2 管脚功能选择寄存器 PINSEL2	194
6.2 GPIO 原理及应用	195
6.2.1 GPIO 相关寄存器	196
6.2.2 GPIO 应用	196
6.3 外部中断输入	198
6.3.1 概述	198
6.3.2 LPC2000 系列外部中断相关寄存器与设置	199
6.3.3 LPC2000 的外中断应用	201
6.4 定时计数电路	203
6.4.1 分频与计数模块	203
6.4.2 匹配控制模块	205
6.4.3 捕获控制模块	206
6.4.4 定时器中断	208
6.4.5 定时器/计数器应用	209
6.5 UART 串行接口	211
6.5.1 串行通信概述	211
6.5.2 LPC2000 器件 UART 电路组成	215
6.5.3 UART 寄存器描述	218
6.5.4 UART 应用	223
6.6 片上其他一些常用接口	226
6.6.1 SPI 接口	226
6.6.2 I ² C 接口	230
6.6.3 A/D 转换器	234
6.6.4 WTD 看门狗	237
6.6.5 脉宽调制 PWM	239
6.6.6 实时时钟 RTC	241
本章小结	242
习题 6	243
第 7 章 ARM 系列芯片的外围电路设计	244
7.1 嵌入式硬件系统模块	244



7.1.1	最小系统结构	245
7.1.2	电源电路	245
7.1.3	时钟电路	247
7.1.4	复位电路	247
7.1.5	存储器系统	248
7.2	存储器电路与设计	248
7.2.1	嵌入式系统中存储器的分类	248
7.2.2	SRAM 接口	250
7.2.3	SDRAM 接口	253
7.2.4	PSRAM 接口	256
7.2.5	NAND Flash 接口	258
7.2.6	NOR Flash 接口	261
7.2.7	存储器与 ARM 的连接	263
7.3	键盘输入模块	265
7.3.1	键盘工作原理	265
7.3.2	键盘的硬件电路	266
7.3.3	键盘的驱动	267
7.4	显示输出模块	268
7.4.1	7 段数码管的工作原理	268
7.4.2	LCD 的工作原理	270
7.5	串行通信模块	275
	本章小结	277
	习题 7	277
第 8 章 嵌入式软件开发技术		278
8.1	嵌入式软件概述	278
8.1.1	嵌入式软件的特点	278
8.1.2	嵌入式软件的分类	279
8.1.3	嵌入式软件开发流程	280
8.1.4	嵌入式软件的开发方法	280
8.2	嵌入式软件的体系结构	282
8.2.1	硬件抽象层	283
8.2.2	操作系统层	286
8.2.3	协议层	287
8.2.4	应用层	288
8.3	硬件抽象层的设计	288
8.3.1	嵌入式系统的启动流程	289
8.3.2	操作系统的加载	294

8.3.3 U-BOOT 的代码分析	296
8.4 嵌入式操作系统	301
8.4.1 嵌入式操作系统移植	302
8.4.2 μ C/OS-II 操作系统	304
8.4.3 嵌入式 Linux 操作系统	312
本章小结	318
习题 8	319
第 9 章 嵌入式系统设计及应用	320
9.1 系统概述	320
9.2 停车场管理系统总体设计	322
9.2.1 系统分析	322
9.2.2 系统组成	324
9.2.3 系统设计	327
9.3 管理工作站子系统开发	331
9.3.1 软硬件开发平台	331
9.3.2 嵌入式 Linux 系统下的开发	332
9.3.3 嵌入式 Web 设计	337
9.3.4 嵌入式 SQLite 数据库开发	341
9.3.5 SNMP 代理模块设计	343
9.3.6 网络通信模块设计	353
9.4 入口硬件设计	355
9.4.1 LPC2200 开发板硬件介绍	355
9.4.2 非接触式 IC 卡	361
9.4.3 车辆检测器	365
9.4.4 车位显示控制器	366
本章小结	367
习题 9	368
参考文献	369

嵌入式系统概述

嵌入式系统近几十年来的发展,已经在很大程度上改变了人们的生活、工作和娱乐方式,而且这些改变还在加速。嵌入式系统种类繁多,每个种类都具有自己的特点,适用于不同的应用。

本章首先介绍嵌入式系统的概念、组成及特点,并且对嵌入式处理器和嵌入式操作系统做简要的叙述,以方便读者从系统的角度整体理解嵌入式系统;其次对嵌入式系统的开发过程进行初步分析,介绍嵌入式系统的开发环境和设计步骤。通过学习,读者将掌握嵌入式系统的基本知识,了解嵌入式系统的设计过程和一般的实现方法。

1.1 引言

嵌入式系统在工业生产控制、智能仪表、信息家电、网络通信等领域中都有着广泛的应用。在最近几年,嵌入式系统取得了前所未有的发展,如多媒体手机、数字个人助理(PDA)、数字导航仪、MP3/MP4、网络路由器等,可以相信随着数字多媒体技术的发展,嵌入式系统将有更加广阔的前景。尤其是嵌入式处理器的发展,可以说种类繁多,竞争激烈,在众多的嵌入式处理器中,目前 ARM 处理器的市场占有率最大。从早期的 ARM7 系列发展到现在的 Cortex 系统,已经形成了应用领域宽广的产品线。使得越来越多的开发人员选择基于 ARM 处理器的嵌入式系统开发平台。

一个完整的嵌入式系统包含硬件系统和软件系统,将软、硬件有机结合构成一个专门的、完成特定功能的系统。在嵌入式系统设计中,通常把硬件系统再细分为处理器核心部分及外围接口扩展部分。软件部分通常分成 BootLoader、操作系统内核、文件系统及应用程序等部分。软件和硬件各个部分的完整结合,才能形成一个适合于不同应用的嵌入式系统,也就是说,要学好基于 ARM 的嵌入式系统开发,除了要对 ARM 处理器有一定的了解外,还要对系统的硬件部分和软件部分都有所了解,必须要有嵌入式系统整体设计的概念。

随着 ARM 处理器的广泛应用,赢得了广大嵌入式操作系统厂家的支持,开发出了更多的基于 ARM 处理器的系统软件和应用软件,如 Linux、symbian OS、VxWorks、Palm OS、WinCE、Android 等。尤其是嵌入式 Linux 操作系统在 ARM 处理器上的应用发展

更为迅速、广泛。也许是基于 Linux 系统具有源码开放、容易裁剪、系统稳定等特点,使得基于 ARM 处理器的 Linux 系统开发越来越深得广大嵌入式系统开发人员的喜爱。

对于嵌入式系统的学习,最为关键的就是要多做实验,多看参考资料,在摸索中求进步。对于嵌入式系统的开发,要注重讲究其应用领域、设计过程和产品性能及成本,因为只有适合应用要求的嵌入式系统,才会有更长生存周期。同样,在系统设计的时候也要考虑到系统的可扩展性、可裁剪性等问题,以及嵌入式系统设计的模块化等问题。好的设计方法只有在从事了一定的系统设计之后才能真正地体会到。

1.2 嵌入式系统的概述

虽然嵌入式系统是近几年才风靡起来的,但是这个概念并非新近才出现。从 20 世纪 70 年代单片机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,嵌入式系统已经有了近三十年的发展历史。作为一个系统,往往是在硬件和软件交替发展的双螺旋支撑下逐渐趋于稳定和成熟的,嵌入式系统也不例外。

嵌入式系统的出现最初是基于单片机的。20 世纪 70 年代单片机的出现,使得汽车、家电、工业机器、通信装置以及成千上万种产品可以通过内嵌电子装置来获得更佳的使用性能,而且使用更容易、速度更快、价格更便宜。这些装置已经初步具备了嵌入式的应用特点,但是这时的应用只是使用 8 位的 CPU 芯片,执行一些单进程的程序,还谈不上“系统”的概念。

最早的单片机是 Intel 公司的 8048,它出现在 1976 年。Motorola 同时推出了 68HC05, Zilog 公司推出了 Z80 系列,这些早期的单片机均含有 256B 的 RAM、4KB 的 ROM、4 个 8 位并口、一个全双工串行口、两个 16 位定时器。之后在 80 年代初,Intel 又进一步完善了 8048,在它的基础上研制成功了 8051,这在单片机的历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。

从 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,这样可以获取更短的开发周期,更低的开发资金和更高的开发效率,“嵌入式系统”真正出现了。确切点说,这个时候的操作系统是一个实时核,这个实时核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。其中比较著名的有 Ready System 公司的 VRTX、Integrated System Incorporation (ISI) 的 PSOS 和 IMG 的 VxWorks、QNX 公司的 QNX 等。这些嵌入式操作系统都具有嵌入式的典型特点,它们均采用占先式的调度,响应的时间很短,任务执行时间可以确定;系统内核很小,具有可裁剪、可扩充和可移植性,可以移植到各种处理器上;较强的实时性和可靠性,适合嵌入式应用。这些嵌入式实时多任务操作系统的出现,使得应用开发人员得以从小范围的开发解放出来,同时也促使嵌入式有了更为广阔的应用空间。

20 世纪 90 年代以后,随着对实时性要求的提高,软件规模不断上升,实时核逐渐发展为实时多任务操作系统(RTOS),并作为一种软件平台逐步成为目前国际嵌入式系统

的主流。这时候更多的公司看到了嵌入式系统的广阔发展前景,开始大力发展自己的嵌入式操作系统。除了上面提到的几家老牌公司以外,还出现了 Palm OS、WinCE、嵌入式 Linux、Lynx、Nucleux,以及国内的 Hopen、Delta Os 等嵌入式操作系统。随着嵌入式技术发展日益广阔,相信会有更多的嵌入式操作系统软件出现。

1.2.1 嵌入式系统的定义

所谓嵌入式系统(Embedded System),实际上是“嵌入式计算机系统”的简称,它是相对于通用计算机系统而言的,注重于发展独立的单芯片技术。在有些系统里也有计算机,但是计算机是作为某个专用系统中的一个部件而存在的,像这样嵌入到更大、专用的系统中的计算机系统,称之为“嵌入式计算机”、“嵌入式计算机系统”或“嵌入式系统”。

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、监视或者辅助某个设备、机器及工厂运行的设备”(原文为 devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants)。从中可以看出嵌入式系统是软件和硬件的综合体,还可以涵盖机械等附属装置。

在嵌入式系统领域,比较认同的嵌入式系统概念是:嵌入式系统是以应用为中心,以计算机技术为基础,并且软硬件可裁剪,适用于应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗有严格要求的专用计算机系统。它一般由嵌入式微处理器、外围硬件设备、嵌入式操作系统以及用户的应用程序 4 个部分组成,用于实现对其他设备的控制、监视或管理等功能。

嵌入式系统简单的说就是嵌入到对象体中的专用计算机系统,是一个具有特定功能或用途的计算机软硬件集合体。可从下面几方面来进一步理解嵌入式系统。

(1) 专用性:嵌入式系统是专为目标对象设计定制的,与应用对象紧密结合,是面向用户、面向产品、面向应用的专用系统,它必须与具体应用相结合才会具有生命力,才更具有优势。

(2) 嵌入性:嵌入式系统是目标对象系统的组成部分,而且系统的软件和硬件部分都嵌入到目标对象体系结构中,形成一个以计算技术、电子技术和特定的工程应用相结合的综合体。

(3) 计算机系统:嵌入式系统组成及体系结构就是一个计算机系统,可以根据应用需求对软硬件进行裁剪,以满足应用系统对功能、可靠性、成本、体积等要求。

实际上,嵌入式系统本身是一个外延极广的名词,凡是与产品结合在一起的具有嵌入式特点的控制系統都可以叫嵌入式系统,而且有时很难给它下一个准确的定义。现在人们讲嵌入式系统时,某种程度上指近些年应用比较广的具有操作系统的嵌入式系统,本文在进行分析和展望时,也沿用这一观点。

在日常生活中,早已存在许多嵌入式系统的应用,如每天使用的手机、MP3 随身听、个人助理(PDA),外出旅游用的照相机、摄像机,汽车里的控制系统,银行里的 ATM 机等,它们的内部都嵌入了一个专用的计算机系统。

嵌入式系统的应用数量上远远超过了各种通用计算机,一台计算机的外部设备中就包含 5~10 个嵌入式微处理器,例如,键盘、显示器、打印机、扫描仪、图像捕捉卡、集线

器、路由器等,均由嵌入式处理器进行控制,在工业制造、过程控制、通信、仪器、仪表、汽车、轮船、航空、航天、军事装备、消费类产品、物联网、机器人等领域,都有它们的存在。

1.2.2 嵌入式系统组成

嵌入式系统通常由嵌入式处理器、外围设备、嵌入式操作系统和应用软件等几大部分组成。在一个嵌入式系统装置中一般都由嵌入式计算机系统和执行装置构成,如图 1-1 所示,嵌入式计算机系统是整个嵌入式系统的核心,由硬件层、中间层、软件层和功能层组成。执行装置也称为被控对象,它可以接受嵌入式计算机系统发出的控制命令,执行所规定的操作或任务。执行装置可以很简单,如手机上的一个微小型的电机,当手机处于震动接收状态时打开;也可以很复杂,如 SONY 智能机器狗,上面集成了多个微小型控制电机和多种传感器,从而可以执行各种复杂的动作和感受各种状态信息。

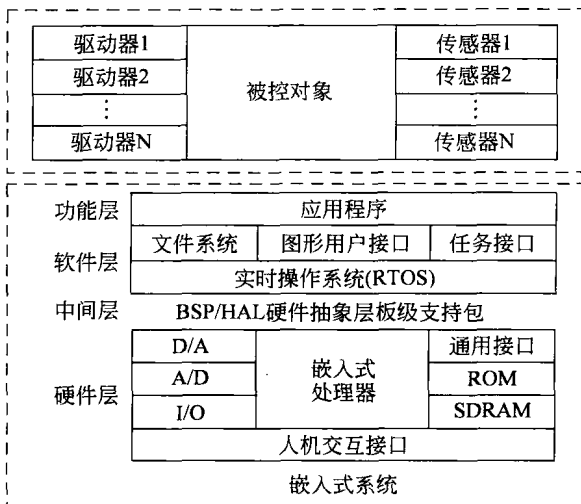


图 1-1 嵌入式系统组成

1. 硬件层

硬件层包含嵌入式微处理器、存储器(SDRAM、ROM、Flash 等)、通用设备接口和 I/O 接口(A/D、D/A、I/O 等)。在一片嵌入式处理器基础上添加电源电路、时钟电路和存储器电路,就构成了一个嵌入式核心控制模块。其中操作系统和应用程序都可以固化在 ROM 中。

1) 嵌入式微处理器

嵌入式系统硬件层的核心是嵌入式微处理器,嵌入式微处理器与通用 CPU 最大的不同在于嵌入式微处理器大多工作在为特定用户群所专用设计的系统中,它将通用 CPU 许多由板卡完成的任务集成在芯片内部,从而有利于嵌入式系统在设计时趋于小型化,同时还具有很高的效率和可靠性。

嵌入式微处理器有各种不同的体系,即使在同一体系中也具有不同的时钟频率

和数据总线宽度,或集成了不同的外设接口。据不完全统计,目前全世界嵌入式微处理器已经超过一千多种,体系结构有三十多个系列,其中主流的体系有 ARM、MIPS、PowerPC、x86 和 SH 等。但与全球 PC 市场不同的是,没有一种嵌入式微处理器可以主导市场,仅以 32 位的产品而言,就有数百种的嵌入式微处理器。嵌入式微处理器的选择是根据具体的应用而决定的。

2) 存储器

嵌入式系统需要存储器来存放数据和执行代码。嵌入式系统的存储器目前也发展为多级存储体系结构,如典型的三级结构:片内 Cache、主存和辅助存储器。

在中高档的嵌入式微处理器中,一般集成了高速缓冲区(Cache),Cache 再分为数据 Cache、指令 Cache 或混合 Cache,Cache 的大小也依不同处理器而定。一般地,Cache 容量小、速度介于主存和 CPU 之间,Cache 中的内容是主存中部分内容的副本。CPU 从 Cache 中读取数据要比从主存中快许多倍,如果提前将要执行的程序代码和数据复制到 Cache 中,CPU 运行时将尽可能地从 Cache 中读取数据或指令,而不是从主存中读取,这样就大大提高了系统的性能。

主存是嵌入式微处理器能直接访问的存储器,用来存放系统和用户的程序及数据。它可以位于微处理器的内部或外部,对于 ARM 处理器它的存储器地址空间为 4G,一般片内存储器容量小,速度快。

常用做主存的存储器有:

- ROM 类有 NOR Flash、EPROM 和 PROM 等;
- RAM 类有 SRAM、DRAM 和 SDRAM 等。

其中 NOR Flash 凭借其可擦写次数多、存储速度快、存储容量大、价格便宜等优点,在嵌入式领域内得到了广泛应用。

辅助存储器用来存放大数据量的程序代码或信息,它的容量大,但读取速度与主存相比就慢了很多,用来长期保存用户的信息。

嵌入式系统中常用的外存有硬盘、NAND Flash、CF 卡、MMC 和 SD 卡等。

3) 通用设备接口和 I/O 接口

嵌入式系统和外界交互需要一定形式的通用设备接口,如 A/D、D/A、I/O 等,外设通过接口或传感器的连接来实现微处理器的输入/输出功能。每个外设接口可以在芯片外也可以集成到芯片内。外设的种类很多,可从一个简单的串行通信设备到非常复杂的 802.11 无线设备。

目前嵌入式系统中常用的通用设备接口有 A/D(模/数转换接口)、D/A(数/模转换接口),I/O 接口有 RS-232 接口、Ethernet 接口(以太网接口)、USB(通用串行总线接口)、IIS 音频接口、VGA 视频输出接口、I²C 总线接口、CAN 总线接口、SPI(串行外围设备接口)和 IrDA(红外线接口)等。

2. 中间层

硬件层与软件层之间为中间层,也称为硬件抽象层(Hardware Abstract Layer, HAL)或板级支持包(Board Support Package, BSP),它将系统上层软件与底层硬件分离