



高等学校工程创新型“十二五”规划教材
电子信息科学与工程类

单片机与嵌入式系统

Microcontroller
and
Embedded System

关永峰 于红旗 主编
库锡树 刘菊荣 主审



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

单片机与嵌入式系统

关永峰 于红旗 主编

聂洪山 刘海军 李贵林 参编

库锡树 刘菊荣 主审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书将单片机的基础性与嵌入式系统的先进性有机结合在一起,首先将 MCS-51 单片机作为学习微处理器的入门实例,使学生能够较快理解微处理器的基本构成结构和工作原理,然后在此基础上介绍具有一定学习难度的 ARM 微处理器、接口技术及软件开发技术。同时还结合 Protues 仿真软件介绍了各种应用开发实例,使理论教学与实践教学紧密结合,具有较高的实用和参考价值。

本书为配合教育部“卓越工程师教育培养计划”和军队院校教育改革而编写,全书共分 9 章,包括嵌入式系统概述、嵌入式系统硬件基础、单片机结构与 C 语言开发技术、单片机工作原理、单片机最小系统综合应用、ARM 嵌入式微处理器、嵌入式系统接口技术、嵌入式操作系统和嵌入式系统 BSP、移植及驱动开发等内容。

本书可作为高等院校电类和非电类专业本科生的教材,亦可作为相关职业技术学校的教材,还可作为从事电子技术的工程技术人员的参考用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

单片机与嵌入式系统/关永峰,于红旗主编. —北京:电子工业出版社,2012. 11

ISBN 978-7-121-18744-5

I. ①单… II. ①关… ②于… III. ①单片微型计算机-系统设计-高等学校-教材 IV. ①TP368. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 246263 号

策划编辑:陈晓莉

责任编辑:陈晓莉

印 刷:北京市李史山胶印厂

装 订:北京市李史山胶印厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:15.5 字数:420 千字

印 次:2012 年 11 月第 1 次印刷

定 价:35.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

从 20 世纪 70 年代第一款单片机诞生开始,嵌入式技术经过近 40 年的发展历程,已经在消费电子、工业控制、信息家电、交通管理、仪器仪表、武器装备等各个领域得到广泛应用,亦已成为当今 IT 应用领域中最热门、最有发展前途的行业之一。嵌入式技术的发展和运用促使我国嵌入式系统市场快速增长,使得企业对嵌入式系统人才的需求不断加大,同时对嵌入式系统人才质量的要求也在提高。嵌入式系统技术是跨学科、跨行业的技术,嵌入式系统人才应是有较强实践经验的复合型工程技术人员,在今后的很长一段时间内,嵌入式系统工程师的发展前景都将十分广阔,培养合格的嵌入式系统工程师已经成为嵌入式系统人才教育的核心目标。

本书共分 9 章,主要内容和篇章结构安排如下:

第 1 章 嵌入式系统概述。首先介绍了嵌入式系统的定义,接着给出了嵌入式系统一般架构。然后介绍了嵌入式系统的应用领域,并通过我们身边的典型嵌入式设备来举例说明嵌入式系统的架构。最后分析了嵌入式系统的历史及发展趋势。

第 2 章 嵌入式系统硬件基础。首先介绍了嵌入式系统硬件的基本概念,包括复杂指令集与精简指令集的定义与区别,以及冯·诺依曼体系结构的特点及其局限性。然后详细介绍了嵌入式系统硬件的基本组成,包括中央处理器、存储器、输入设备、输出设备以及总线的特点、类别及现状。

第 3 章 单片机结构与 C 语言开发技术。介绍了 MCS-51 单片机的基本组成,包括单片机的内部结构、引脚结构和功能、存储器结构、时钟复位电路等内容,是单片机系统应用的硬件基础。同时还讲述了开发单片机的 C 语言基础,介绍了开发单片机过程中所使用的 C 语言与传统 C 语言的异同点,重点介绍了在使用 C51 过程中数据存储空间的分配、特殊功能寄存器的定义等内容。

第 4 章 单片机工作原理。详细介绍了 MCS-51 单片机的内部资源及其工作原理,其中包括定时器的构成、工作原理及应用,中断系统构成、工作原理及其应用,外部存储器的扩展与应用,键盘及显示接口电路及应用。

第 5 章 单片机最小系统综合应用。以国防科学技术大学电子科学与技术实验中心所设计的单片机最小系统为例,详细介绍了单片机最小系统的硬件组成和对应的软件驱动,包括 89S52 核心单片机、时钟复位译码电路结构、键盘显示电路结构和工作原理、外部数据存储器的扩展和工作原理、单片机小系统与 FPGA 小系统的接口设计以及驱动程序。

第 6 章 ARM 嵌入式微处理器。对 ARM 处理器的基本概念、应用领域、处理器的分类、应用选型等方面做了简单介绍,重点讲述了 ARM 微处理器的体系结构以及 ARM 处理器的工作流程。最后以 LPC214X 系列 ARM 为例,简要介绍了其软硬件设计开发流程,以及程序的固化。

第 7 章 嵌入式系统接口技术。介绍了串行通信的基本概念,对 RS-232、SPI、I2C、USB、CAN 等常见的嵌入式系统接口进行了简要介绍,并给出了 RS-232、SPI、I2C 接口在 ARM 或 8051 系统中应用的简单例子。

第 8 章 嵌入式操作系统。首先介绍了计算机操作系统的基本概念、发展历史、分类及功能,在此基础上,对嵌入式系统中最常用的实时操作系统进行了简要介绍。最后,以 RTX 为

例,给出了如何在单片机中实现嵌入式实时操作系统的使用方法。

第9章 嵌入式系统 BSP、移植及驱动开发。首先介绍了嵌入式系统板级支持包,即BSP,它是嵌入式系统开发的关键环节。然后介绍了嵌入式系统的一个重要概念——移植,嵌入式系统的设计必须要考虑可移植性。最后介绍了嵌入式系统的驱动程序开发。

本书是为配合教育部“卓越工程师教育培养计划”及军队院校教育改革,结合国防科学技术大学多年教育和科研项目的成果而编写的。关永峰组织了全书的编写工作并编写了第3~5章,于红旗编写了第6~8章,聂洪山编写了第1、9章,刘海军编写了第2章,李贵林参与编写了第3~5章的部分内容。库锡树、刘菊荣对全书进行了认真的校对与审查,习勇、孙兆林、徐欣为本书的编写提供了宝贵的建议。

由于编者水平有限,难免有疏漏的地方,恳请读者批评指正。

编者

2012年9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
1.1.1 嵌入式系统定义	1
1.1.2 嵌入式系统的特征	1
1.1.3 嵌入式系统与通用计算机系统的区别	2
1.2 嵌入式系统的基本结构	2
1.2.1 嵌入式系统的硬件	3
1.2.2 嵌入式系统的软件	4
1.2.3 嵌入式系统的中间层	5
1.3 嵌入式系统的应用	6
1.3.1 嵌入式系统的应用领域	6
1.3.2 嵌入式系统的实例	8
1.4 嵌入式系统的发展	10
1.4.1 嵌入式系统的历史	10
1.4.2 嵌入式系统的发展现状	11
1.4.3 嵌入式系统的发展趋势	12
1.5 本章小结	13
第 2 章 嵌入式系统硬件基础	14
2.1 基本概念	14
2.1.1 复杂指令集和精简指令集	14
2.1.2 冯·诺依曼体系结构	15
2.2 基本硬件组件	16
2.2.1 中央处理器	17
2.2.2 存储器	20
2.2.3 输入设备	22
2.2.4 输出设备	24
2.2.5 总线	26
2.3 本章小结	30
第 3 章 单片机结构与 C 语言开发技术	31
3.1 MCS-51 单片机的结构	31
3.1.1 MCS-51 系列单片机简介	31
3.1.2 MCS-51 单片机的结构及引脚功能	32
3.1.3 MCS-51 的存储器结构	35
3.1.4 时钟电路与时序	41
3.1.5 并行输入/输出端口结构	43
3.1.6 单片机的复位	46
3.2 单片机 C 语言程序设计基础	48
3.2.1 C 语言与 MCS-51	48
3.2.2 C51 数据类型	49
3.2.3 C51 数据存储类型	50

3.2.4	C51 运算符、表达式及其规则	52
3.2.5	C51 流程控制语句	53
3.2.6	C51 函数	57
3.3	本章小结	62
第4章	单片机工作原理	63
4.1	定时器/计数器	63
4.1.1	定时器/计数器的结构和功能	63
4.1.2	方式寄存器和控制寄存器	64
4.1.3	定时器/计数器的工作方式	65
4.1.4	定时器/计数器应用举例	67
4.2	MCS-51 单片机中断系统	71
4.2.1	中断的概念	71
4.2.2	MCS-51 单片机中断系统	71
4.2.3	外中断源的扩展	77
4.2.4	中断系统的应用	79
4.3	单片机系统扩展	80
4.3.1	单片机的片外总线结构	81
4.3.2	外部程序存储器扩展	82
4.3.3	外部数据存储器扩展	86
4.4	单片机键盘及显示接口	90
4.4.1	键盘接口原理	90
4.4.2	显示器接口原理	95
4.5	本章小结	101
第5章	单片机最小系统综合应用	102
5.1	单片机最小系统设计制作	102
5.1.1	单片机最小系统硬件设计	102
5.1.2	单片机最小系统时钟、复位、译码电路	102
5.2	人机接口技术	105
5.2.1	键盘接口电路及程序设计	105
5.2.2	数码管接口电路及程序设计	107
5.2.3	液晶接口电路及程序设计	116
5.3	片外存储器扩展	122
5.3.1	片外静态 RAM 扩展及程序设计	122
5.3.2	片外串行 E ² PROM 扩展及程序设计	123
5.4	单片机最小系统与 FPGA 接口电路及程序设计	136
5.5	本章小结	138
第6章	ARM 嵌入式微处理器	139
6.1	ARM 处理器简介	139
6.2	ARM 微处理器系列	140
6.3	ARM 微处理器体系结构	143
6.3.1	RISC 体系结构	143
6.3.2	ARM 微处理器工作模式及状态	145
6.3.3	ARM 微处理器的寄存器结构	146
6.3.4	ARM 微处理器的异常处理	150

6.3.5	ARM 处理器存储结构	151
4.3.6	ARM 处理器的存储映射 I/O 及内部总线	152
6.4	ARM 微处理器的应用选型	153
6.5	LPC214X 系列 ARM 芯片应用开发	155
6.5.1	LPC214X 系列 ARM 芯片简介	155
6.5.2	LPC2148 引脚描述	156
6.5.3	LPC2148 最小系统设计	162
6.5.4	LPC2148 内置 Flash 的烧写	165
6.6	本章小结	169
第 7 章	嵌入式系统接口技术	170
7.1	串行通信基本概念	170
7.2	RS-232C 接口	172
7.2.1	接口信号	172
7.2.2	技术指标	173
7.2.3	RS-232 的帧结构	174
7.2.4	RS-232 的编程和使用	174
7.2.5	LPC2106 串口的编程与应用	174
7.3	SPI 通信接口	177
7.3.1	什么是 SPI	177
7.3.2	SPI 接口定义及通信原理	177
7.3.3	DS1302 实时时钟及其应用	178
7.4	I ² C 通信接口	182
7.4.1	什么是 I ² C	182
7.4.2	I ² C 特性	183
7.4.3	I ² C 的基本术语及协议分析	183
7.4.4	24C04 基本应用仿真	186
7.5	USB 通信接口	190
7.5.1	什么是 USB	190
7.5.2	USB 协议简析	191
7.6	CAN 总线接口	193
7.6.1	CAN 总线概述	193
7.6.2	CAN 总线特性及优点	193
7.6.3	CAN 的报文传输	194
7.7	本章小结	195
第 8 章	嵌入式操作系统	196
8.1	计算机操作系统的基本概念	196
8.1.1	什么是计算机操作系统	196
8.1.2	操作系统的作用及定义	196
8.2	计算机操作系统的历史	197
8.2.1	手工操作阶段	197
8.2.2	早期批处理阶段	198
8.2.3	执行系统阶段	199
8.2.4	多道程序系统阶段	199
8.2.5	操作系统的形成	201

8.2.6	操作系统的发展	202
8.3	操作系统的分类	203
8.3.1	批处理操作系统	203
8.3.2	分时操作系统	204
8.3.3	实时操作系统	204
8.3.4	其他操作系统	206
8.4	操作系统功能	207
8.5	实时操作系统基本概念	208
8.5.1	实时系统及其特点	208
8.5.2	计算机实时操作系统及相关概念	209
8.5.3	进程和线程	211
8.5.4	嵌入式实时操作系统	214
8.5.5	常见嵌入式实时操作系统	214
8.6	RTX 嵌入式操作系统	216
8.6.1	RTX-51 简介	216
8.6.2	RTX-51 特点	217
8.6.3	RTX-51 任务管理	217
8.6.4	RTX-51 事件	218
8.6.5	RTX-51 Tiny 系统函数	219
8.6.6	RTX-51 Tiny 程序设计仿真	223
8.6.7	使用 OS 编程的优势	228
8.7	本章小结	228
第 9 章	嵌入式系统 BSP、移植及驱动开发	229
9.1	嵌入式系统 BSP	229
9.1.1	嵌入式系统 BSP 的原理	229
9.1.2	BSP 的工作流程	230
9.2	嵌入式操作系统移植	233
9.2.1	操作系统移植条件	234
9.2.2	操作系统移植工具	234
9.2.3	硬件初始化	234
9.2.4	操作系统移植的其他工作	235
9.3	嵌入式驱动程序开发	236
9.3.1	编写命令号	236
9.3.2	驱动程序的初始化函数及清除函数	236
9.3.3	file_operations 结构体	237
9.3.4	接口函数	237
9.3.5	为驱动程序增加中断服务程序	239
9.4	本章小结	239
参考文献		240

第1章 嵌入式系统概述

1.1 嵌入式系统的定义

1.1.1 嵌入式系统定义

根据 IEEE(电气和电子工程师协会)的定义,嵌入式系统是“控制、监视或者辅助装置、机器和设备运行的装置”(devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants)。从中既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。

目前国内一个普遍被认同的定义是:以应用为中心、以计算机技术为基础、软/硬件可裁剪、适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗严格要求的专用计算机系统。

可见,嵌入式系统是指将计算机软/硬件嵌入到某个特定的设备,以实现特定的功能。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等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。“嵌入性”、“专用性”与“计算机系统”是嵌入式系统的三个基本要素。

1.1.2 嵌入式系统的特征

这些年来掀起了嵌入式系统应用热潮的原因主要有几个方面:一是芯片技术的发展,使得单个芯片具有更强的处理能力,而且使集成多种接口已经成为可能,众多芯片生产厂商已经将注意力集中在这方面。二是应用的需要,由于对产品可靠性、成本、更新换代要求的提高,使得嵌入式系统逐渐从纯硬件实现和使用通用计算机实现的应用中脱颖而出,成为近年来令人关注的焦点。

嵌入式系统的特点由定义中的3个基本要素衍生出来。不同的嵌入式系统其特点会有所差异。从上面的定义,我们可以看出嵌入式系统的几个重要特征:

(1) 系统内核小。由于嵌入式系统一般是应用于小型电子装置的,硬件资源相对有限,所以内核较之传统的操作系统要小得多。比如 Enea 公司的 OSE 分布式系统,内核只有 5KB,而 Windows 的内核很大,简直没有可比性。

(2) 专用性强。嵌入式系统的专用性很强,其中的软件系统和硬件的结合非常紧密,一般要针对硬件进行系统的移植,即使在同一品牌、同一系列的产品中也需要根据系统硬件的变化不断进行修改。同时针对不同的任务,往往需要对系统进行较大更改,程序的编译下载要和系统相结合,这种修改和通用软件的“升级”是两个完全不同的概念。

(3) 系统精简。嵌入式系统一般没有系统软件和应用软件的明显区分,不要求其功能设计及实现上过于复杂,这样一方面利于控制系统成本,同时也利于实现系统安全。

(4) 嵌入式系统开发需要专门的开发工具和环境。由于其本身不具备自举开发能力,即使设计完成以后用户通常也是不能对其中的程序功能进行修改的,必须有一套开发工具和环境才能进行开发,这些工具和环境一般基于通用计算机的软/硬件设备以及逻辑分析仪、混合信号示波器等。开发时往往有主机和目标机的概念,主机用于程序的开发,目标机作为最后的

执行机,开发时需要交替结合进行。

与“嵌入性”的相关特点:由于是嵌入到对象系统中,必须满足对象系统的环境要求,如物理环境(小型)、运行环境(可靠)、成本(价廉)等要求。

与“专用性”的相关特点:软/硬件的裁剪性;满足对象要求的最小软/硬件配置等。

与“计算机系统”的相关特点: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。与上两个特点相呼应,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,例如,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 嵌入式系统与通用计算机系统的区别

嵌入式系统与通用计算机系统有着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,其技术发展方向是总线速度的无限提升、存储容量的无限扩大;而嵌入式计算机系统的技术要求则是智能化控制,技术发展方向是与对象系统密切相关的嵌入性能、控制能力与控制的可靠性不断提高。

嵌入式系统和通用计算机的主要区别见表 1-1。

表 1-1 嵌入式系统和通用计算机的主要区别

	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、标准总线和外设,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,没有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	编程功能计算机,普遍进入社会	变为专用计算机,实现“普及计算”

1. 2 嵌入式系统的基本结构

一个嵌入式设备一般都由嵌入式系统和执行装置组成,嵌入式系统是整个嵌入式设备的控制核心,由硬件层、中间层、操作系统层和应用软件层组成,如图 1-1 所示。执行装置也称被

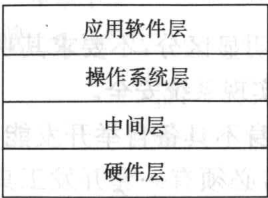


图 1-1 嵌入式系统的基本结构

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多种状态信息。

嵌入式系统的中间层本质上也是软件,但是由于其特殊性和重要作用,(后面章节)我们将单独介绍,而在嵌入式系统的软件小节(1.2.2)只介绍(嵌入式)操作系统和应用软件。

1.2.1 嵌入式系统的硬件

嵌入式系统硬件结构如图 1-2 所示,系统主要由微处理器(MPU)、外围电路,以及外设组成,MPU 为整个嵌入式系统硬件的核心,决定了整个系统功能和应用领域。外围电路根据微处理器不同而略有不同,主要由电源管理模型、时钟模块、闪存(Flash)、随机存储器(RAM),以及只读存储器(ROM)组成。这些设备是一个微处理器正常工作所必需的设备。外部设备将根据需要而各不相同,如通用通信接口 USB、RS-232、RJ-45 等,输入/输出设备,如键盘、LCD 等。(一个嵌入式系统的)外部设备将根据(应用)需要定制。

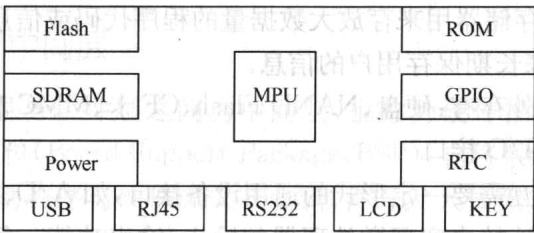


图 1-2 典型嵌入式系统硬件结构

(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,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。

嵌入式微处理器的体系结构可以采用冯·诺依曼体系(结构)或哈佛体系(结构);指令系统可以选用精简指令系统(Reduced Instruction Set Computer, RISC)和复杂指令系统(Complex Instruction Set Computer, CISC)。RISC 计算机在通道中只包含最有用的指令,确保数据通道快速执行每一条指令,从而提高了执行效率并使 CPU 硬件结构设计变得更为简单。

嵌入式微处理器有多种不同的体系,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和接口。据不完全统计,目前全世界嵌入式微处理器已经超过 1000 多种,体系结构有 30 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 100 种以上的嵌入式微处理器。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和执行代码。嵌入式系统的存储器包含 Cache、主存和辅助存储器。

① Cache:Cache 是一种容量小、速度快的存储器阵列,它位于主存和嵌入式微处理器内核之间,存放的是最近一段时间微处理器使用最多的程序代码和数据。在需要进行数据读取操作时,微处理器尽可能地从 Cache 中读取数据,而不是从主存中读取,这样就大大改善了系统的性能。Cache 的主要目标就是:减小存储器(如主存和辅助存储器)给微处理器内核造成的存储器访问瓶颈,使处理速度更快,实时性更强。

在嵌入式系统中 Cache 全部集成在嵌入式微处理器内,可分为数据 Cache、指令 Cache 或混合 Cache,Cache 的大小依不同处理器而定。

② 主存:主存是嵌入式微处理器能直接访问的寄存器,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,其容量为 256KB~1GB,根据具体的应用而定,一般片内存储器容量小,速度快,片外存储器容量大。

常用作主存的存储器有:

◆ ROM 类 NOR Flash、EPROM 和 PROM 等。

◆ RAM 类 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。

③ 辅助存储器: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慢很多,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,外设通过和片外其他设备或传感器的连接来实现微处理器的输入/输出功能。每个外设通常都只有单一的功能,它可以在芯片外也可以内置于芯片中。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无线设备。

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

1.2.2 嵌入式系统的软件

嵌入式系统与传统的单片机在软件方面最大的不同就是可以移植操作系统,从而使软件设计层次化,传统的单片机在软件设计时将应用程序与系统、驱动等全部混在一起编译,系统的可扩展性、可维护性不高,上升到操作系统后,这一切就变得简单可行。

嵌入式系统在软件上呈现明显的层次化,从嵌入式操作系统,到上层文件系统、GUI 界面,以及用户层的应用软件。各部分可以清晰地划分开来,如图 1-3 所示。当然,在某些时候这种划分也不完全符合应用要求,此时需要程序设计人员根据特定的需要来设计自己的软件。

应用软件		
文件系统(FS)	图形用户界面(GUI)	系统管理(接口)
嵌入式操作系统		

图 1-3 典型嵌入式系统软件结构

嵌入式操作系统(Embedded Operation System, EOS)是一种用途广泛的系统软件,过去它主要应用在工业控制和国防系统领域。EOS 负责嵌入系统的全部软/硬件资源的分配、任务调度,控制、协调并发活动。它必须体现其所在系统的特征,能够通过装卸某些模块来

达到系统所要求的功能。目前,已推出一些应用比较成功的 EOS 产品系列。随着 Internet 技术的发展、信息家电的普及应用及 EOS 的微型化和专业化,EOS 开始从单一的弱功能向高专业化的强功能方向发展。嵌入式操作系统在系统实时高效性、硬件的相关依赖性、软件固化以及应用的专用性等方面具有较为突出的特点。设计者根据自己特定的需要来设计移植自己的操作系统,即添加删除部分组件,添加相应的硬件驱动程序,为上层应用提供系统调用。

文件系统、GUI,以及系统管理(接口)主要应对需要,即如果需要文件系统及图形界面支持才需要设计,主要是为了应用程序员开发应用程序提供更多、更便捷、更丰富的 API 接口。

应用软件层即用户设计的针对特定应用的应用软件,在开发该应用软件时,可以用到底层提供的大量函数。

1.2.3 嵌入式系统的中间层

(嵌入式系统)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隔开来,使系统的底层驱动程序与硬件无关,上层软件开发人员无须关心底层硬件的具体情况,根据 BSP 层提供的接口即可进行开发。该层一般包含相关底层硬件的初始化、数据的输入/输出操作和硬件设备的配置功能。BSP 具有以下两个特点。

硬件相关性:因为嵌入式实时系统具有应用相关性,而作为上层软件与硬件平台之间的接口,BSP 需要为操作系统提供操作和控制具体硬件的方法。

操作系统相关性:不同的操作系统具有各自的软件层次结构,因此,不同的操作系统具有特定的硬件接口形式。

实际上,BSP 是一个介于操作系统和底层硬件之间的软件层次,包括了系统中大部分与硬件联系紧密的软件模块。设计一个完整的 BSP 需要完成两部分工作:嵌入式系统的硬件初始化以及 BSP 功能,设计硬件相关的设备驱动。

(1) 嵌入式系统硬件初始化

系统初始化过程可以分为三个主要环节,按照自底向上、从硬件到软件的次序依次为:片级初始化、板级初始化和系统级初始化。

① 片级初始化:完成嵌入式微处理器的初始化,包括设置嵌入式微处理器的核心寄存器和控制寄存器、嵌入式微处理器核心工作模式和嵌入式微处理器的局部总线模式等。片级初始化把嵌入式微处理器从上电时的默认状态逐步设置成系统所要求的工作状态。这是一个纯硬件的初始化过程。

② 板级初始化:完成嵌入式微处理器以外的其他硬件设备的初始化。另外,还需设置某些软件的数据结构和参数,为随后的系统级初始化和应用程序的运行建立硬件和软件环境。这是一个同时包含软/硬件两部分在内的初始化过程。

③ 系统初始化:该初始化过程以软件初始化为主,主要进行操作系统的初始化。BSP 将对嵌入式微处理器的控制权转交给嵌入式操作系统,由操作系统完成余下的初始化操作,包含加载和初始化与硬件无关的设备驱动程序,建立系统内存区,加载并初始化其他系统软件模块,如网络系统、文件系统等。最后,操作系统创建应用程序环境,并将控制权交给应用程序。

(2) 硬件相关的设备驱动程序

BSP 的另一个主要功能实现是硬件相关的设备驱动程序。硬件相关的设备驱动程序的初始化通常是一个从高到低的过程。尽管 BSP 中包含硬件相关的设备驱动程序,但是这些设备驱动程序通常不直接由 BSP 使用,而是在系统初始化过程中由 BSP 将它们与操作系统中通用的设备驱动程序关联起来,并在随后的应用中由通用的设备驱动程序调用,实现对硬件设备的操作。与硬件相关的驱动程序是 BSP 设计与开发中另一个非常关键的环节。

1.3 嵌入式系统的应用

1.3.1 嵌入式系统的应用领域

嵌入式系统目前已在国防、国民经济及社会生活各领域普及应用,用于企业、军队、办公室、实验室以及个人家庭等各种场所,嵌入式系统技术具有非常广阔的应用前景,下面列举了一些嵌入式系统的应用领域。

- ◆ 军用。各种武器控制(火炮控制、导弹控制、智能炸弹制导引爆装置)、坦克、舰艇、轰炸机等陆海空各种军用电子装备,雷达、电子对抗军事通信装备,野战指挥作战用各种专用设备。

- ◆ 消费电子。我国各种消费类电子产品,如数字电视机、机顶盒、数码相机、VCD、DVD、音响设备、可视电话、家庭网络设备、洗衣机、电冰箱、智能玩具等,广泛采用微处理器/微控制器及嵌入式软件。随着市场的需求和技术的发展,传统手机逐渐发展成为融合了 PDA、电子商务和娱乐等特性的智能手机,我国移动通信市场潜力巨大,发展前景看好。

- ◆ 工业控制。各种智能测量仪表、数控装置、可编程控制器、控制机、分布式控制系统、现场总线仪表及控制系统、工业机器人、机电一体化机械设备、汽车电子设备等,广泛采用嵌入式系统。基于嵌入式芯片的工业自动化设备将获得长足的发展,目前已经有大量的 8 位、16 位和 32 位嵌入式微控制器在应用中,网络化是提高生产效率和产品质量、减少人力资源的主要途径,如工业过程控制、数字机床、电力系统、电网安全、电网设备监测、石油化工系统。就传统的工业控制产品而言,低端型采用的往往是 8 位单片机。但是随着技术的发展,32 位、64 位的处理器逐渐成为工业控制设备的核心,在未来几年内必将获得长足的发展。

- ◆ 网络应用。Internet 的发展,产生了大量网络基础设施、接入设备、终端设备的市场需求,这些设备中大量使用嵌入式系统。

- ◆ 交通管理。在车辆导航、流量控制、信息监测与汽车服务方面,嵌入式系统技术已经获得了广泛的应用,内嵌 GPS 模块、GSM 模块的移动定位终端已经在各种运输行业获得了成功的使用。

- ◆ 信息家电。这将成为嵌入式系统最大的应用领域,冰箱、空调等的网络化、智能化将引领人们的生活步入一个崭新的空间。即使你不在家里,也可以通过电话线、网络进行远程控制。在这些设备中,嵌入式系统将大有用武之地。

- ◆ 家庭智能管理系统。水、电、煤气表的远程自动抄表,安全防火、防盗系统,其中嵌有的专用控制芯片将代替传统的人工检查,并实现更高、更准确和更安全的性能。目前在服务领域,如远程点菜器等已经体现了嵌入式系统的优势。

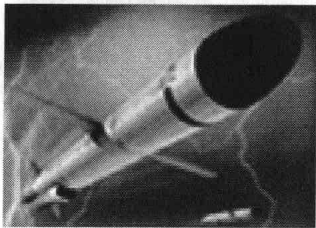
- ◆ 环境工程与自然。水文资料实时监测,防洪体系及水土质量监测,堤坝安全,地震监测网,实时气象信息网,水源和空气污染监测。在很多环境恶劣、地况复杂的地区,嵌入式系统将

实现无人监测。

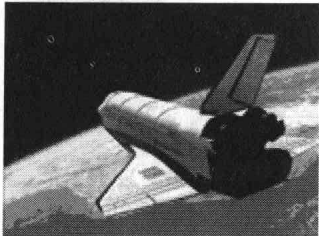
◆ 机器人。嵌入式芯片的发展将使机器人在微型化、高智能方面的优势更加明显,同时会大幅度降低机器人的价格,使其在工业领域和服务领域获得更广泛的应用。

◆ 其他。各类收款机、POS 系统、电子秤、条形码阅读机、商用终端、银行点钞机、IC 卡输入设备、取款机、自动柜员机、自动服务终端、防盗系统、各种银行专业外围设备以及各种医疗电子仪器,无一不用到嵌入式系统。嵌入式系统可以说无处不在,有着广阔的发展前景,也充满了机遇和挑战。

图 1-4 是一些有代表性的嵌入式系统应用案例。



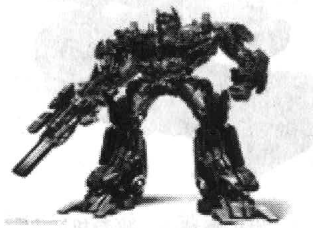
航空航天领域——导弹



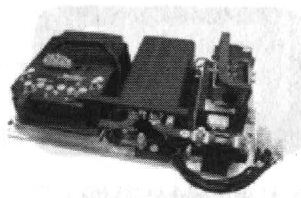
航空航天领域——航天飞机



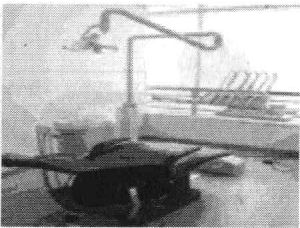
航空航天领域——火箭



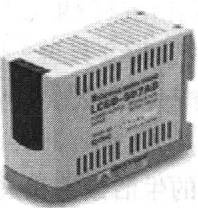
机器人领域



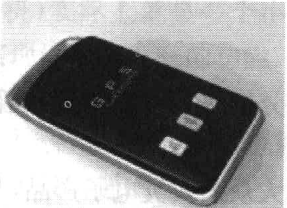
控制器领域



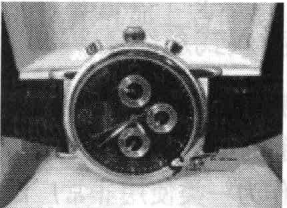
医疗设备领域



驱动器领域



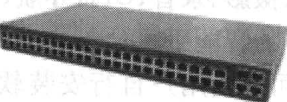
接收器领域



精密仪器领域



网络设备领域——路由器



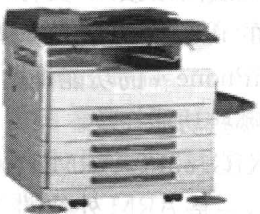
网络设备领域——交换机



网络设备领域——防火墙



办公设备领域——打印机



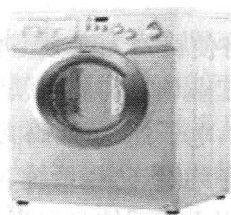
办公设备领域——复印机



办公设备领域——掌上电脑



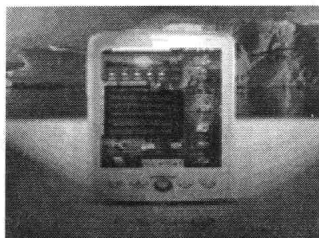
自动柜员机



智能电器领域——洗衣机



智能电器领域——冰箱



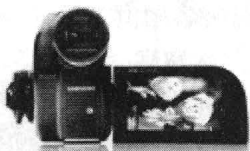
娱乐领域——手机



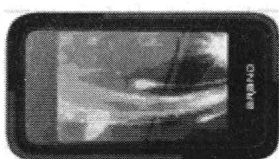
娱乐领域——游戏机



娱乐领域——数码相机



娱乐领域——DV



娱乐领域——MP4



娱乐领域——摄像机

图 1-4 嵌入式系统应用案例

1.3.2 嵌入式系统的实例

这里我们从嵌入式系统的角度分析一下人们日常生活中常接触的嵌入式设备。

(1) 手机

手机作为一类使用非常广泛的大众消费类电子产品,与我们的生活紧密相关,目前大多数人的生活已经离不开手机。据调查,中国手机保有量于 2012 年 5 月达到 10 亿部。



图 1-5 iPhone 4 手机

目前市面上大多数手机除了典型的电话功能外,还包含了游戏、MP3、照相、摄影、录音、GPS 导航、上网等更多的功能。特别是使用功能越来越多的智能手机(Smartphone),像个人电脑一样,具有独立的操作系统,可以由用户自行安装软件、游戏等第三方服务商提供的程序,通过此类程序来不断对手机的功能进行扩充,并可以通过移动通信网络来实现无线网络接入,更像一个带有手机功能的 PDA。图 1-5 所示苹果公司的 iPhone 4,就是一款典型的智能手机。

图 1-6 是 iPhone 4 的功能框图,下面我们从嵌入式系统角度看看该手机都包含哪些功能模块。

- ◆ 处理器——选用 Samsung K4X1G153PC ARM 11 处理器,负责运算和控制工作。
- ◆ 存储器——包括三部分存储器,一是 ARM 外挂的 NAND Flash 存储器,二是 ARM 内置的 SDRAM 存储器,三是基带芯片外挂的 NAND Flash + SRAM 存储器。