

信息与电子学科百本精品教材工程

新编电气与电子信息类本科规划教材

嵌入式32位微处理器 系统设计与应用

何加铭 主编 聂秋华 主审

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



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

新编电气与电子信息类本科规划教材

嵌入式 32 位微处理器 系统设计与应用

何加铭 主编

曾兴斌 胡乾苗 李 军 金 古 纪 丰 周 珏 编

聂秋华 主审



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书从嵌入式 32 位微处理器+Linux OS 平台的软、硬件设计角度出发,全面、系统地介绍 ARM 处理器的体系结构及基于 Motorola ARM9 处理器的嵌入式系统设计方法和实例。从嵌入式系统的基本功能、基本设计理论切入,由浅入深地讲述 ARM 体系结构、编程技巧、Linux 的应用实例及相应的实验。

本书可作为高等院校研究生和高年级本科生“嵌入式系统”课程的教材,也可作为从事嵌入式系统研究开发的工程技术人员参考书。

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

嵌入式 32 位微处理器系统设计与应用/何加铭主编. —北京:电子工业出版社,2006. 1

新编电气与电子信息类本科规划教材

ISBN 7-121-02189-7

I. 嵌… II. 何… III. 微处理器—系统设计—高等学校—教材 IV. TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 159295 号

责任编辑:凌 毅

印 刷:北京牛山世兴印刷厂

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

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:23 字数:589 千字

印 次:2006 年 1 月第 1 次印刷

印 数:5000 册 定价:29.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

序

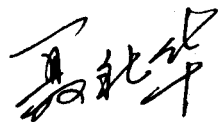
嵌入式系统及其技术是计算机技术、通信技术、半导体技术、微电子技术、语音图像数据传输技术等先进技术应用于具体设备产品的关键系统和技术。ARM 嵌入式微处理器是一种高性能、低功耗的 RISC 芯片,世界上几乎所有的主要半导体厂商都生产基于 ARM 体系结构的通用芯片,或在其专用芯片中嵌入 ARM 的相关技术。目前,ARM 芯片广泛应用于无线通信、网络、消费电子、机电及其他工业等领域。

在过去的两年中,随着嵌入式设备的发展改进,Linux 操作系统受到了越来越多的青睐,尤其是用于无线通信终端、电子消费产品、电信路由器和交换机、网络产品、汽车工业及其他工业领域。其产品形态丰富多样,市场潜力巨大。

中国是世界未来制造业及加工业的重要基地之一,这将引起对大量嵌入式技术人才的迫切需求。为此,作者根据已取得的科研成果和自己的嵌入式系统设计经验,从嵌入式系统设计、嵌入式系统编程及工程实践训练三个方面,编写一本适合于通信、电子、计算机、机电、自动化等专业和相关专业公司开发人员的嵌入式系统设计与实例开发的教材,以满足该类专业教学和相关专业公司技术人员技术开发参考的需求。

本书的特色是以基于 ARM 架构的嵌入式微处理器 MC9328MX1 和 Linux 操作系统为核心,结合作者的教学与科研成果和经验,比较全面地介绍基于 ARM 的嵌入式应用系统的开发技术,包括嵌入式系统的原理、设计方法、操作系统移植与编程实例等丰富的内容,极具参考价值。

预祝《嵌入式 32 位微处理器系统设计与应用》教材能为我国的电子信息专业教学和电子通信产业发展起到添砖加瓦的作用。



宁波大学校长、教授

前 言

嵌入式系统是指以应用为中心,以计算机技术为基础,软件、硬件可裁剪,适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积和功耗严格要求的专用计算机系统。嵌入式系统已广泛地渗透到科学研究、工程建设、军事等各种领域,甚至商业、文化、艺术及人们日常生活的方方面面。随着国内外各种嵌入式产品的进一步开发和推广,嵌入式技术的重要性日益凸显,这方面人才的需求量与日俱增,高等学校的培养任务迫在眉睫。因此,编者根据取得的科研成果、开发经验和教学实践编写了本书,可作为本科生及研究生相关课程的教材或相关专业公司技术人员的参考书籍。

本书系统地介绍了嵌入式系统的基本原理和主要技术,以基于 ARM920T 内核的 Motorola MC9328MX1 为重点,详细讨论了嵌入式系统的硬件结构和软件体系。本书共分 11 章,内容包括:嵌入式系统设计基础、ARM 体系结构、ARM 指令集、嵌入式系统程序设计、基于 MC9328MX1 嵌入式系统、嵌入式操作系统开发与应用、ADS 集成开发环境、嵌入式软件开发实验、嵌入式扩展接口实验、 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 操作系统移植与应用、Linux 操作系统移植与应用。其中,第 1~6 章为基础理论,主要讲述基于 ARM 的嵌入式系统的有关概念及其硬件和软件问题;第 7~11 章为实验应用,详细讨论基于 ARM 的软件开发环境和典型应用的基本原理,并给出在推荐的实验设备上所做的典型实验。

本书对使用各类 ARM9、ARM7 系统,尤其是使用 Motorola 公司 DragonBall 系列芯片开发产品的公司、科技工作者具有参考和借鉴价值。

宁波大学校长聂秋华教授负责全书的主审。

宁波大学通信技术研究所所长何加铭教授担任该书的主编,主要负责全书内容的组织并负责第 2~4、6 章的编写;曾兴斌老师负责全书初审及第 1、5 章的编写;胡乾苗老师负责第 9~10 章的编写;李军老师负责第 7、8 章的编写;宁波市通信芯片与射频技术重点实验室金古、纪丰、周珏等工程师及宁波大学硕士生刘丽、屠秋萍参与了本书的编辑和排版工作。

宁波新然电子信息科技发展有限公司为本书的编写提供了 ARM9、ARM7 开发系统,朱风波总工程师、张德添高级程序员、胡明明工程师、洪焕工程师也为本书提出了许多宝贵的建议。

编者在此向参加编撰和审定的专家和科技工作者表示衷心的感谢,对在本书编撰出版过程中予以大力支持和帮助的电子工业出版社胡先福主任、凌毅编辑等特别致谢。

本书有完善的实验和开发设备与之配套,可作为高等院校通信类、信息类、电子类等相关专业的本科生教材,也可供研究生和有关科学研究与产品开发人员使用。

在嵌入式应用系统的开发技术中涉及很多名词术语,本书力图使用在国内单片机技术领域通用的一些名词术语,但是还有一些 ARM 体系中特有的名词术语是按照其技术含义来表述定义的。

因本书涉及的领域,其理论和技术正在日新月异地发展,另由于编者水平及写作时间仓促,书中难免存在不妥或错误之处,望读者批评指正。

编 者
2005 年 12 月

目 录

第1章 嵌入式系统设计基础	1
1.1 嵌入式系统的基本概念	1
1.1.1 嵌入式系统概述	1
1.1.2 嵌入式系统应用与发展	3
1.2 嵌入式系统的组成结构	5
1.2.1 系统组成结构	5
1.2.2 ARM 处理器	6
1.2.3 嵌入式操作系统	7
1.3 嵌入式系统设计流程	9
1.3.1 系统设计流程	9
1.3.2 软件开发环境	11
第2章 ARM 体系结构	13
2.1 ARM 技术的应用及其特点	13
2.1.1 ARM 技术的应用	13
2.1.2 ARM 技术的特点	14
2.2 ARM 体系结构版本的命名方法	15
2.2.1 ARM 体系结构版本概述	15
2.2.2 ARM 体系的发展	17
2.2.3 ARM 体系结构版本命名	19
2.3 ARM 核(ARM 系列处理器的内核)	20
2.3.1 ARM7	20
2.3.2 ARM9	22
2.3.3 ARM10	23
2.3.4 StrongARM	24
2.3.5 Xscale	25
2.4 ARM 指令流水线结构	25
2.4.1 ARM 3 级指令流水线	25
2.4.2 ARM 5 级指令流水线	27
2.4.3 ARM 6 级指令流水线	28
2.5 ARM 处理器的工作	29
2.5.1 ARM 处理器工作状态	29
2.5.2 ARM 处理器工作模式	29
2.6 ARM 寄存器	30
2.6.1 通用寄存器	31
2.6.2 程序状态寄存器	33
2.7 ARM 异常中断	34
2.7.1 ARM 异常中断类型	34
2.7.2 ARM 异常中断响应过程	35
2.7.3 ARM 异常中断返回	35
2.7.4 ARM 异常中断优先级	36

2.8 ARM 存储系统	36
2.8.1 ARM 体系中的存储空间	36
2.8.2 ARM 存储器格式	36
第3章 ARM 指令集	38
3.1 ARM 指令集概述	38
3.1.1 ARM 指令的编码	38
3.1.2 ARM 指令的分类	39
3.1.3 ARM 指令的条件执行	39
3.2 ARM 指令寻址方式	39
3.3 ARM 指令介绍	44
3.3.1 跳转指令	44
3.3.2 数据处理指令	45
3.3.3 状态寄存器访问指令	51
3.3.4 Load/Store 指令	52
3.3.5 异常中断产生指令	56
3.3.6 协处理器指令	57
3.4 Thumb 指令介绍	58
3.4.1 Thumb 指令简介	58
3.4.2 Thumb 状态切换	59
3.4.3 Thumb 指令使用	59
第4章 嵌入式系统程序设计	64
4.1 ARM 汇编语言的伪操作与伪指令	64
4.1.1 ARM 汇编语言伪操作	64
4.1.2 ARM 汇编语言伪指令	85
4.2 ARM 汇编语言编程与优化	88
4.2.1 ARM 汇编语言编程基础	88
4.2.2 ARM 汇编语言编程技巧	94
4.2.3 ARM 汇编语言编程实例	97
4.3 嵌入式 C 语言编程	100
4.3.1 嵌入式 C 语言编程基础	100
4.3.2 嵌入式 C 语言编程优化	104
4.3.3 嵌入式 C 语言编程实例	108
4.4 汇编与 C 语言混合编程	111
4.4.1 APCS 简介	111
4.4.2 C 语言内嵌汇编	113
4.4.3 汇编与 C 语言程序相互调用	118
第5章 基于 MC9328MX1 嵌入式系统	121
5.1 MC9328MX1 处理器	121
5.1.1 Motorola MC9328MX1 处理器概述	121
5.1.2 MC9328MX1 功能结构	121
5.1.3 MC9328MX1 引脚信号	124
5.1.4 MC9328MX1 Reset 模块	129
5.1.5 MC9328MX1 Bootstrap 模式	131
5.2 MC9328MX1 标准硬件接口	136
5.2.1 存储控制器	136

5.2.2	中断控制器	143
5.2.3	通用 I/O 接口(GPIO)	148
5.2.4	实时时钟(RTC)	153
5.2.5	脉冲宽度调制(PWM)	158
5.3	MC9328MX1 音频通信接口	162
5.3.1	通用异步收发器	162
5.3.2	USB 控制器	169
5.3.3	I ² C 通信接口	173
5.3.4	SSI 通信接口	178
5.4	MC9328MX1 人机接口	185
5.4.1	LCD 控制器(LCDC)	185
5.4.2	模拟信号处理(ASP)	206
5.4.3	CMOS 传感器接口(CSI)	216
5.5	Sunrun MC9328MX1 开发系统	226
5.5.1	Sunrun MC9328MX1 基本功能介绍	226
5.5.2	Sunrun MC9328MX1 硬件接口资源	231
5.6	基于 MC9328MX1 的应用实例	234
5.6.1	基于 MC9328MX1 的语音采集与播放	235
5.6.2	基于 MC9328MX1 的图像采集与显示	236
5.6.3	基于 MC9328MX1 的无线收发	237
第 6 章	嵌入式操作系统开发与应用	239
6.1	μ C/OS-II 操作系统	239
6.1.1	μ C/OS-II 概述	239
6.1.2	μ C/OS-II 内核与文件系统	239
6.1.3	μ C/OS-II 文件系统	241
6.1.4	μ C/OS-II 的移植	242
6.2	Windows CE 操作系统	249
6.2.1	Windows CE 简介	249
6.2.2	Windows CE 结构特点	249
6.2.3	Windows CE 开发与应用	251
6.3	嵌入式 Linux 操作系统	253
6.3.1	嵌入式 Linux 概述	253
6.3.2	嵌入式 Linux 结构特征	253
6.3.3	Linux 内核裁剪与配置	255
6.3.4	嵌入式 Linux 在 MC9328MX1 上移植	257
第 7 章	ADS 集成开发环境	261
7.1	CodeWarrior for ADS 概述	261
7.2	工程项目的管理	261
7.2.1	建立一个新的工程项目	261
7.2.2	建立一个新的源文件	262
7.2.3	将已存在的源文件加入到工程项目中	264
7.2.4	将工程项目中的文件分组	265
7.2.5	删除文件或者组	265
7.2.6	保存工程项目	265
7.2.7	关闭工程项目	266

7.2.8	选择默认工程项目	266
7.2.9	移动工程项目	266
7.3	配置生成目标	266
7.3.1	“Debug Settings”对话框介绍	266
7.3.2	设置生成目标的基本选项	267
7.3.3	汇编器选项设置	271
7.3.4	编译器选项设置	273
7.3.5	连接器选项设置	276
7.3.6	fromELF 工具的选项设置	279
7.4	编译和连接工程项目	280
7.4.1	编译文件	280
7.4.2	生成工程项目	281
7.5	AXD 代码调试	282
7.5.1	打开 AXD 和调试文件	282
7.5.2	查看寄存器、存储器及变量值	282
第 8 章	嵌入式软件开发实验	285
8.1	ARM 汇编指令实验	285
8.2	Thumb 指令实验	288
8.3	ARM 处理器工作模式实验	290
8.4	C 语言编程实验	292
8.5	汇编与 C 语言相互调用实验	294
第 9 章	嵌入式扩展接口实验	297
9.1	存储器实验	297
9.2	中断控制实验	299
9.3	串口通信实验	301
9.4	RTC 实验	308
9.5	PWM 实验	310
9.6	LCD 显示实验	311
9.7	4×4 键盘控制实验	315
9.8	USB 通信实验	320
9.9	触摸屏控制实验	325
第 10 章	μC/OS-II 操作系统移植与应用	327
10.1	μC/OS-II 移植实验	327
10.2	μC/OS-II 多任务应用实验	332
第 11 章	Linux 操作系统移植与应用	338
11.1	Linux 移植实验	338
11.2	Linux 开发基础实验	343
11.3	Linux 进程控制实验	345
11.4	Linux 进程间通信实验	348
11.5	Linux 定时器实验	351
11.6	Linux 多线程应用实验	354
11.7	Linux 程序设计综合实验	357
参考文献		359

第 1 章 嵌入式系统设计基础

本章介绍嵌入式系统的基本知识,包括嵌入式系统的历史发展与演变、嵌入式系统的定义及系统组成等内容。通过对本章的学习,帮助读者掌握嵌入式系统的基本概念,建立嵌入式系统开发的整体概念。

1.1 嵌入式系统的基本概念

1.1.1 嵌入式系统概述

1. 嵌入式系统的由来

自本世纪初,嵌入式系统在上世界上渐渐流行,“嵌入式系统”这个词汇出现的频率也越来越高,但是嵌入式系统这个概念并非最近才出现的。嵌入式系统的由来,可以追溯到微型计算机的诞生。

计算机诞生于 1946 年,在其后漫长的历史演变过程中,计算机一直是被安置在特殊的机房中,用于实现数值计算的、体型庞大的昂贵设备。直到 20 世纪 70 年代,Intel 公司的新一代微处理器 8080 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小型、价廉、高可靠性等特点,迅速走出机房。

1976 年,Intel 公司推出了世界上第一款 8 位单片机 8048,同时 Motorola 推出了 68HC05,Zilog 公司推出了 Z80 系列。它们使用 NMOS 工艺,但是具有速度低、功耗大、集成度低等缺点。20 世纪 80 年代初,Intel 在 8048 的基础上研制成功了 8051 单片机。迄今为止,51 系列单片机仍然是最为成功的单片机芯片,在设备制造、工业控制等领域有着非常广泛的应用。

随着科学技术的飞速发展,8 位单片机在很多方面已经无法满足对其性能的更高要求。根据摩尔定律,处理器性能每 18 个月就增加一倍,32 位微处理器也随之诞生。为了区别于现有的应用在通用计算机上的微处理器,把嵌入式系统运用到对象体系中、实现对对象系统智能化控制的微处理器称做嵌入式处理器,同时也标志着计算机进入了通用计算机与嵌入式计算机两大分支并行发展的时代。具有代表性的处理器有应用于个人计算机的 Intel 公司的 x86 处理器;应用于嵌入式系统的 ARM 处理器等。

2. 嵌入式系统的定义

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。嵌入式系统无处不在,日常生活中的电冰箱、电子表、手机、MP3、数码相机,工业中的监视设备、工业控制仪器等,它们的内部都有嵌入式处理器。

从嵌入式系统本身的应用方面来考虑,国际电气和电子工程师协会(IEEE)给出了定义: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。

然而随着嵌入式系统多元化的发展,嵌入式系统也越来越多地应用于人们的日常生活,显

然这个定义已经显得不够确切了。后来,人们对嵌入式系统进行重新定义:嵌入式系统是以应用为中心,以计算机技术为基础,并且软件、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。凡是具有嵌入式特点的系统都可以叫做嵌入式系统。嵌入式系统一般由嵌入式处理器、外围硬件设备、嵌入式操作系统及应用程序 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。

3. 嵌入式系统的类别

从硬件角度看,嵌入式处理器是嵌入式系统的核心部分,它和外围设备构成了嵌入式系统的硬件部分。根据处理器的不同,嵌入式系统可以分成以下几类。

1) 微控制器(MCU, Micro Controller Unit)

微控制器俗称单片机。它把中央处理器、存储器、输入/输出接口都集成在一块集成电路芯片上。和微处理器相比,其最大优点是体积小,可放在仪表内部,功耗和成本也非常低;缺点是存储量小,输入/输出接口简单,功能比较弱,比较适合用于数据量较小的工业控制。目前单片机已经成为工业控制的主流。

由于微控制器价格低廉、性能优良、可靠性高,目前占据了嵌入式系统约 70% 的市场份额。MCU 的种类也比较繁多,主要的生产厂家有 Motorola、Philips、Atmel、EMC 等。比较典型的单片机有 MCS-51/151/251、MCS-96/196/296、P51XA、C166/167、68K 系列,以及带有 USB 接口的 MCU 8XC930/931、C540/541,带有 I²C、CAN 总线、LCD 等接口的专用微控制器。由于微控制器其自身的特点,它将会长期活跃在嵌入式系统领域内。

2) 数字信号处理器(DSP, Digital Signal Processor)

DSP 处理器是一种特别适合于进行数字信号处理运算的微处理器,其主要应用是实时快速地实现各种数字信号处理算法。在数字滤波、FFT、频谱分析等方面得到了大规模的应用。

由于应用 DSP 处理器的场合要求具有很高的实时性(Real Time),因此 DSP 微处理器具有极高的处理速度。DSP 的典型特征是:

- 每个处理周期能够处理多条乘加操作;
- 具有实时运算能力、实时的仿真能力和实时的模拟能力;
- 具有很强的通用性和很高的可靠性;
- 成本低廉。

随着大规模集成电路技术的发展,1982 年世界上诞生了首枚 DSP 芯片。这种 DSP 器件采用微米工艺 NMOS 技术制作,虽然功耗和尺寸稍大,但运算速度却比 MPU 快了几十倍,尤其在语音合成和编码解码器中得到了广泛应用。至 20 世纪 80 年代中期,随着 CMOS 工艺技术的进步与发展,第二代基于 CMOS 工艺的 DSP 芯片应运而生,其存储容量和运算速度都得到成倍提高,成为语音处理、图像硬件处理技术的基础。20 世纪 80 年代末至今,相继出现了第三代、第四代和第五代 DSP 处理器,这种集成度极高的 DSP 芯片不仅在通信、计算机领域大显身手,而且逐渐渗透到人们的日常消费领域。

目前,比较典型的 DSP 处理器有 TI 公司的 TMS320C2000/C5000/C6000 系列、Motorola 公司的 DSP56000 系列、ADI 公司的 ADSP21XX 系列等。

3) 嵌入式微处理器(EMPU, Embedded Micro Processor Unit)

嵌入式微处理器是由通用计算机中的 CPU 演变而来的。在应用中,将微处理器装配在

专门设计的电路板上,只保留与嵌入式应用有关的母板功能,这样可以大幅度减小系统体积和功耗。为了满足嵌入式应用的特殊要求,虽然嵌入式微处理器在功能上与标准微处理器基本相同,但在工作温度、抗电磁干扰、可靠性等方面都做了各种增强。与工业控制计算机相比,嵌入式微处理器具有体积小、重量轻、成本低、可靠性高的优点。

目前,主要的嵌入式微处理器类型有:ARM、MIPS、PowerPC 等。

4) 片上系统(SOC, System On Chip)

片上系统是在一个硅片上实现一个更为复杂的系统,它结合了许多功能模块,将整个系统集成在一块芯片内。SOC 的发展和 EDA 的推广及 VLSI 设计的普及化是密不可分的。各种通用处理器内核作为 SOC 设计公司的标准库,和许多其他嵌入式系统外设一样,成为 VLSI 设计中的一种标准器件,用标准的 VHDL 等语言描述,存储在器件库中。用户只需定义出其整个应用系统,仿真通过后就可以将设计图交给半导体工厂制作样品。这样除个别无法集成的器件以外,整个嵌入式系统大部分均可集成到一块或几块芯片中去,应用系统电路板将变得很简洁,对于减小体积和功耗、提高可靠性非常有利。

由于 SOC 通常都是专用的,所以大部分都不为用户所知,比较典型的是 Philips 的 Smart XA。

4. 嵌入式系统的特点

与通用计算机系统不同,嵌入式系统应用于特殊的环境下,面向专业的应用领域,它的设计要求和通用计算机在很大程度上是不同的。相对而言,嵌入式系统具有以下几个特点。

(1) 应用特性:嵌入式系统通常是面向专业领域的应用,如工业控制、医疗设备、通信终端等,大多数都是为特定的用户群所设计的。

(2) 实时性:大多数的嵌入式系统需要工作在实时方式下,它需要有对外部事件迅速做出反应的能力。

(3) 稳定性:由于嵌入式系统的应用特性,必然要求其具有很高的稳定性。嵌入式系统中的软件一般是固化在存储器芯片或单片机本身中,而不是存储于磁盘等载体中。硬件组成要求相对较高,这样就大大提高了其稳定性。

(4) 体积小、功耗低、集成度高:由于嵌入式系统一般用于小型的电子设备,其系统资源相对有限。无论从硬件还是软件来看,对嵌入式系统“体积”的要求都较为苛刻,在硬件上要求系统本身的集成度越高越好。目前,嵌入式系统在手持设备方面的应用也日渐增多,如手机、PDA、PMP、MP3 等,功耗成为很多产品的瓶颈,进而导致低功耗成为很多嵌入式产品的卖点。

(5) 开发依赖性:嵌入式系统本身不具备独立开发的功能。系统设计完成后,用户不能对其中的程序功能进行修改,用户必须通过专用的开发工具和环境才能进行开发。嵌入式系统的开发工具和环境将在 1.3.2 节进行介绍。

1.1.2 嵌入式系统应用与发展

1. 嵌入式系统的应用领域

嵌入式系统的应用数量远远超过各种通用计算机,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,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、USB、集线器等均是由嵌入式处理器控制的。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、消费类产品等方面均是嵌入式计算机的应用领域。

(1) 国防:各种炮弹、导弹等的引爆装置,坦克、舰艇、战斗机等海陆空各种军用电子设备,雷达、通信、电子干扰等设备。在最近的伊拉克战争和阿富汗战争中,嵌入式设备都有广泛的应用。我国嵌入式计算机最早用于导弹控制上。

(2) 航天:人造卫星、火箭发射控制、空间站等,包括我国成功发射的“神舟六号”航天飞机都安装了嵌入式设备。

(3) 工业:各种智能测量仪表、数控设备、现场总线仪表、控制系统等,都广泛采用了工业级的嵌入式系统。

(4) 交通:汽车电子设备、GPS 定位系统、交通灯、交通管制及监视探测系统都用到了各种级别的嵌入式处理器。

(5) 商务:各种收款机、验钞机、考勤机、自动取款机、电子秤、IC 接入设备、复印机、打印机、传真机、激光照排系统等。

(6) 医疗:各种医疗电子设备,如心电图仪、X 光机、超声诊断仪、血液分析仪、病房监护系统、辅助诊断系统等。

(7) 家用:目前嵌入式系统在家用方面日趋火热,已经成为嵌入式系统最大的应用领域。家用电器中的冰箱、空调、洗衣机,家用水、电、煤气抄表系统,楼宇监控系统,消费类电子产品中的手机、MP3、电子表、PDA、随身听、机顶盒等。

2. 嵌入式系统的发展前景

1990 年之前,嵌入式系统通常是很简单且具有很长产品生命周期的自主设备。近些年来,由于网络与通信技术的迅猛发展及 32 位 MCU 的发展,使得嵌入式系统从普遍的低端应用进入到一个高、低端并行发展,并且不断提升低端应用技术水平时代,同时嵌入式产品也获得了巨大的发展机遇,为嵌入式市场展现了美好的前景。据有关机构预测分析,在 32 位嵌入式微处理器市场上,基于 ARM 内核的微处理器在市场上处于绝对的领导地位,因此,追踪 ARM 技术的发展趋势显得尤为重要。

在众多嵌入式系统厂家的参与下,基于 ARM 系列处理器的应用技术在众多应用领域中取得突破性进展。但嵌入式系统开发要求嵌入式系统厂家提供嵌入式软硬件系统本身的同时,还需提供强大的硬件开发工具及软件包支持。鉴于此,目前很多厂家将系统与开发环境同时推广。

随着 Internet 技术的成熟,网络化、信息化的要求也日益提高,这就要求在以往单一功能设备(如电话、手机、微波炉等)的芯片上集成更多的功能,再提供有效的软件支持。为了满足应用功能方面的升级,一般采用更大的嵌入式处理器,如 32 位、64 位 RISC 芯片或数字信号处理器 DSP 来增强处理能力,同时增加如 USB 等功能接口、CAN 等扩展总线类型,加强对多媒体、图形图像等的处理能力等。软件支持方面,采用实时多任务编程技术和交叉开发工具技术来控制功能复杂性,简化应用程序设计,保障软件质量和缩短开发周期。为了适应网络发展的要求,要求硬件上提供各种网络通信接口及相应的通信组网协议软件和物理层驱动软件。软件支持方面,系统内核需支持网络模块,甚至可以在嵌入式设备上嵌入 Web 浏览器,真正实现随时随地可以用各种设备上网。

嵌入式设备要博得用户的青睐,设计者不仅需要精简系统内核、算法,降低功耗和软硬件

成本,还需提供友好的多媒体人机界面、图像界面及灵活的控制方式,如手写文字输入、收发 E-mail、彩色图形图像、语音拨号上网等功能。

1.2 嵌入式系统的组成结构

1.2.1 系统组成结构

嵌入式系统一般由嵌入式微处理器、外围硬件设备、嵌入式操作系统及用户的应用程序 4 个部分组成,如图 1-1 所示。

嵌入式处理器是嵌入式系统的核心部分,它和外围设备构成了嵌入式系统的硬件部分。处理器核决定了微处理器的体系架构,芯片生产厂家一般都基于处理器核生产不同型号的芯片。目前比较流行的处理器体系架构有:

(1) ARM: 包括 ARM7、ARM9、ARM10、ARM11 和 SecurCore 系列。ARM 处理器具有体积小、功耗低、成本低、性能高等特点。ARM 处理器在移动通信、手持设备、多媒体数字终端中使用最广。本书将在 1.2.2 节中详细介绍 ARM 处理器。

(2) MIPS: 嵌入式 32/64 位 RISC 处理器,它的定位很广,在高端市场有 64 位 20Kc 系列,在低端市场有 SmartMIPS。它在数字机顶盒、视频游戏机、Cisco 路由器等方面应用较多。

(3) PowerPC: 其特点是可伸缩性好,方便灵活。它的处理器品种繁多,有通用处理器,如苹果电脑中所用的处理器就采用 PowerPC 架构;又有嵌入式微处理器,如 Motorola MPC 系列。

(4) x86: x86 系列处理器是目前人们最熟悉的处理器,被广泛应用于 PC 中。它起源于 Intel 架构的 8080,随后发展了 286、386、486 等,直到现在的 Pentium 4、Celeron 系列及 AMD 的 Athlon 系列。

目前针对嵌入式系统的外围设备扩展有很多,常用的有串口、以太网接口(网络设备)、USB(USB 设备,如优盘、数码相机、移动硬盘等)、音频接口(如 MP3)、液晶显示屏(如数码相机、数码摄像机、PDA 等)、摄像头(如手机、数码相机、数码摄像机等)。可以看到,不同的嵌入式系统的设计可能会用到不同的外围设备。以数码相机为例,它需要用到摄像头、液晶显示屏、USB、SD 或 MS 卡,如果要给数码相机加上 MP3 功能,就要加上音频解码设备。没有外围设备的支持,嵌入式系统是不完整的。

低层驱动、操作系统和应用程序组成了嵌入式系统的软件部分。低层驱动实现了嵌入式系统硬件和软件之间的接口;操作系统用于实现系统的进程调度、任务处理;应用程序实现了系统功能的应用。一个好的嵌入式系统必然要求其软件和硬件都要有高效率的设计,在保证稳定、安全、可靠的基础上缩小体积,力争在同样的芯片体积上体现更高的性能。

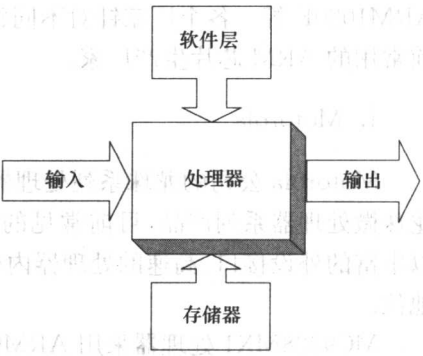


图 1-1 嵌入式系统组成结构

1.2.2 ARM 处理器

ARM(Advanced RISC Machines)公司是全球领先的 16/32 位 RISC 微处理器知识产权设计供应商。ARM 公司将其高性能、低成本、低功耗的 RISC 微处理器、外围和系统芯片等设计技术授权给全球范围内的各大半导体公司,其自身不制造和设计芯片,由这些授权的公司专注于设计、制造和市场运作。全球前 25 家半导体公司中有 23 家都采用了 ARM 的技术授权,并且全球有 70 多家公司正在生产 ARM 芯片。ARM 16/32 位嵌入式处理器已经成为世界上应用最为广泛的微处理器结构。

ARM 的处理器核有 ARM710T/720T/740T、ARM920T/940T、ARM926E/966E 及 ARM1020E 等。各个厂家针对不同领域的应用,各自开发了众多 ARM 芯片。下面将介绍目前常用的 ARM 芯片生产厂家。

1. Motorola

Motorola 公司的龙珠系列处理器在 ARM 处理器市场上广为人知。I. MX 系列处理器是龙珠微处理器系列产品,目前常见的有 MC9328MX1、MC9328MX21 处理器。该系列处理器以丰富的外设接口、高速的处理器内核、较低的功耗等特点在便携式手持设备市场上居于领先地位。

MC9328MX1 处理器采用 ARM920T 内核,内带 128KB RAM;内部集成了 LCD 控制器、USB 控制器、MMC/SD 主控制模块、MS 卡主控制器、SIM 卡接口模块、I²C 总线模块、通用 I/O 接口、模拟信号处理模块(ASP)、蓝牙加速器(BTA)、多媒体加速器(MMA)等,该处理器在多媒体处理上性能出色。本书将在第 5 章中详细讲解 MC9328MX1 处理器的应用。

MC9328MX21 处理器采用了 ARM926EJ 核心,内部集成了 LCD 控制器、USB 控制器、SIM 卡接口模块、I²C 总线模块、通用 I/O 接口、模拟信号处理模块(ASP)、蓝牙加速器(BTA)、多媒体加速器(MMA)等,内部还带有硬件解码器,使得图像处理异常出色。

2. Samsung

Samsung 公司的 ARM 微处理器是目前使用最广的 ARM 处理器之一。Samsung 公司针对 ARM 处理器的应用范围将其处理器分成 3 类。

1) 手持设备

适合低功耗产品,包括:

(1) S3C44B0: ARM7TDMI 核心,主频 66MHz,集成 LCD 控制器(支持 STN,但不支持 TFT),无网络接口。

(2) S3C2410: ARM920T 核心,主频 200MHz,支持 TFT,USB Host,Device,SD Host 及 MMC 接口,触摸屏接口,NAND Flash 直接引导,无网络接口。

适用产品:POS、PDA、E-Book、GPS、智能电话、电子书包、机顶盒、手持游戏机、电子相册、视频监控、智能控制仪表等。

2) 网络设备

(1) S3C4510B: ARM7,主频 50MHz,MAC 接口,无 LCD 控制器。

(2) S3C2510: ARM940T,主频 166MHz,2ch MAC 接口,DES/3DES 加密,PCI 总线,USB Host 和 Device。

适用产品:以太网 HUB、交换机、路由器、VOIP、XDSL Modem、WLAN 产品、家庭网关等网络设备。

3) ADSL

S5N8947:ARM7,66MHz,2ch MAC,USB,ATM SAR。

适用产品:ADSL 桥接 Modem、ADSL 路由器、ADSL 网关、VOIP、VODSL、DSLAM。

3. TI

TI 公司的 OMAP 处理器内含一个增强型 ARM 处理器(ARM925)和 TI 公司最新研制出的低功耗定点 DSP(TMS320C55x)。该双核心组件设计的目的是为了有效处理多媒体应用和 MMI 应用,其中,ARM925 用于执行操作系统,而 DSP 用于处理所有多媒体应用。

OMAP 平台由一个微处理器子系统(ARM)、一个 DSP 子系统、一个内存接口流量控制器、一些专用的多媒体应用外围设备(MWA)和一个多任务接口构成。OMAP 中,每个核心的最高执行速度都可达到 150MHz,并且都可以随作业频率的降低而做出相应改动以节约功耗。ARM 既支持 32 位也支持 16 位(Thumb 模式)指令集。C55x DSP 内有 5 组数据总线,在一个周期内允许 3 次读取作业和 2 次写入作业。C55x 最独特的地方就是具备双 MAC 结构,并且其内部具有一个硬件图形加速器。

OMAP5910 采用 ARM925EJ 和 DSP C55x 双处理器核,片内集成了丰富的外围接口,如:LCD 控制器、UART、PWM、存储器接口、摄像头接口、I²C 主机接口、USB 主从接口、安全数字多媒体卡控制器接口、红外接口、键盘接口等。

OMAP 嵌入式处理器系列是专门为支持第三代(3G)无线终端应用而设计的应用处理器体系结构。OMAP 嵌入式处理器系列包括应用处理器及集成的基带应用处理器,目前已广泛应用于 PDA、无线远程通信、医疗器械等领域。

4. Intel

Intel 公司在原 StrongARM 的基础上,发展了第二代嵌入式微处理器体系结构——Xscale。Xscale 微处理器除了具有比上一代 StrongARM 微处理器更好的数据处理速度外,还具有更低功耗及强大的外围设备集成能力。

Intel 公司的 80200 是以 Xscale 体系结构所设计的一个嵌入式系统微处理器。80200 微处理器使用 Intel 公司的超流水线 RISC 技术,具有 32KB 的指令 Cache 和 32KB 的数据 Cache,还具有 32 位的指令和数据 MMU。

PXA255 是 Xscale 系列的典型代表,它是基于 PDA 应用的微处理器。内核工作频率高达 400MHz,内部集成了很多手持设备需要的外围设备,包括 RTC、看门狗、USB、串口、蓝牙控制器,可外扩 PS/2、以太网、红外线、LCD 触摸屏控制器等。

1.2.3 嵌入式操作系统

嵌入式操作系统是系统硬件和软件之间通信的第一层软件,在嵌入式系统中占据了特别重要的地位。如果说嵌入式系统的躯体是硬件的话,那它的灵魂就是操作系统。操作系统性能的高低,一定程度上决定了嵌入式系统性能的优劣。

嵌入式操作系统通常包括与硬件相关的底层驱动软件、系统内核、设备驱动接口、通信协议、图形界面等。嵌入式操作系统是嵌入式系统资源的管理者,在它的帮助下,用户可以方便

快捷、安全可靠地控制硬件及执行应用程序。

在一般的操作系统上,用户对操作系统的实时性要求并不是很高。例如,用户对打开一个应用程序所花的时间并不是非常在意,多花几秒钟等待时间并不会对用户造成多大的损失。但是,如果将嵌入式系统应用在交通、航海、国防尤其是航空领域,几秒甚至几微秒的误差都可能造成不可预见的后果。因此,可以将嵌入式操作系统分成实时操作系统和非实时操作系统。所谓实时操作系统,泛指所有具有一定实时资源调度及通信能力的操作系统。非实时操作系统通常是指特定操作所消耗的时间(以及空间)的上限是不可预知的,如 Linux、多数 UNIX 及多数 Windows 家族成员都属于非实时操作系统。

实时操作系统又分为可抢占型和不可抢占型两类。对于基于优先级的系统而言,可抢占型实时操作系统是指内核可以抢占正在运行任务的 CPU 使用权并将使用权交给进入就绪态的优先级更高的任务,是内核抢了 CPU 让别的任务运行。不可抢占型实时操作系统使用某种算法并决定让某个任务运行后,就把 CPU 的控制权完全交给了该任务,直到它主动将 CPU 控制权还回来。中断由中断服务程序来处理,可以激活一个休眠态的任务,使之进入就绪态;而这个进入就绪态的任务还不能运行,一直要等到当前运行的任务主动交出 CPU 的控制权。使用这种实时操作系统比不使用实时操作系统的系统性能好,其实时性取决于最长任务的执行时间。不可抢占型实时操作系统的缺点也恰恰是这一点,如果最长任务的执行时间不能确定,系统的实时性就不能确定。

可抢占型实时操作系统的实时性好,优先级高的任务只要具备了运行的条件,或者说进入了就绪态,就可以立即运行。也就是说,除了优先级最高的任务,其他任务在运行过程中都可能随时被比它优先级高的任务中断,让后者运行。通过这种方式的调度保证了系统的实时性,但是,如果任务之间抢占 CPU 控制权处理不好,会产生系统崩溃、死机等严重后果。

大多数的嵌入式操作系统应用在实时环境中。实时操作系统(RTOS)可以根据实际应用的需要对系统内核进行裁剪,并重新配置以满足不同领域应用的需要。一般的嵌入式操作系统都应具备以下几个功能。

1. 任务管理

任务管理又被称为进程管理。所有的嵌入式操作系统都支持多任务处理。操作系统提供任务调度机制来控制所有进程的起始、执行、等待和结束。对处理器的资源分配都是以进程为单位,系统合理分配处理器资源给多个进程。

2. 存储器管理

存储器管理的主要任务是为多道程序的运行提供良好的空间,包括内存分配、内存保护、地址映射、内存扩充。通常内存管理的方式是虚拟内存管理,但是由于其占用系统资源较大,嵌入式系统中都采用了资源占用相对较小的动态内存管理方式。当某一进程需要使用内存时,就利用操作系统提供的分配函数来处理,使用完后,可通过释放函数来释放所占用的内存,这样内存就可以实现重复使用。

3. 设备驱动

设备驱动程序是操作系统内核的一部分。它使某个特定的硬件对应一个定义良好的内部编程接口,同时设备的工作细节也得到了完全的隐藏。用户操作通过一组标准化的调用完成,