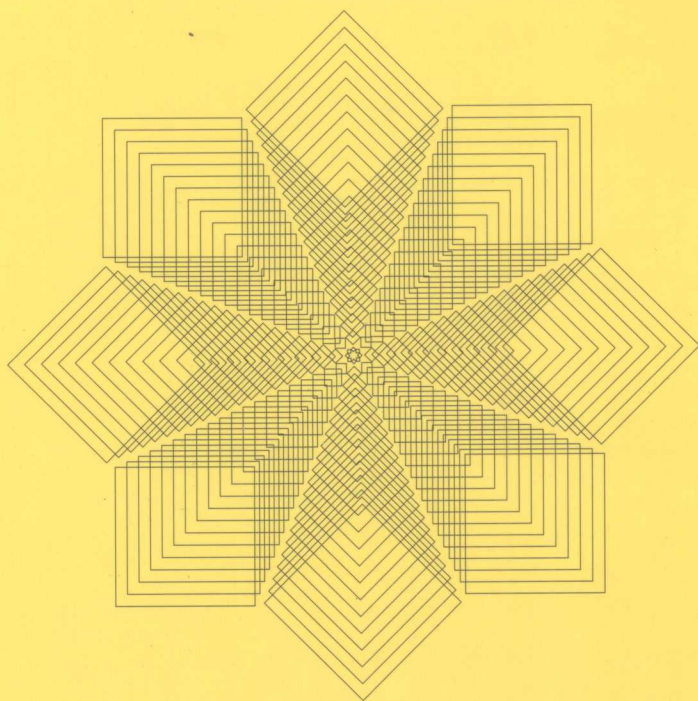


嵌入式系统基础教程

QIANRUSHI XITONG JICHU JIAOCHENG

于忠得 林敏 申华 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

内容简介

嵌入式系统基础教程

于忠得 林敏 申华 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

全书分四个方面介绍了嵌入式系统的基本知识:第一方面从嵌入式系统的基本概念入手,介绍了嵌入式系统的定义、硬件和软件组成结构、特点、应用领域与发展(第1章)。第二方面介绍了嵌入式系统的内核、指令系统、编程基础知识,给出了指令系统详尽技术细节(第2章~第4章)。第三方面介绍了比较有代表性的三星公司的 ARM7 微处理器——S3C44BOX,对其基本性能、内嵌的外围设备,即存储器控制器、时钟与电源管理电路、CPU 的内存配置与总线优先级管理器、I/O 端口、PWM 定时器、串行接口、A/D 转换器、实时时钟、中断控制器和看门狗定时器做了详尽的讨论,给出了工程设计所需的全部技术参数,并举了部分应用实例(第5章)。第四方面介绍了常见的嵌入式操作系统,对当前热门使用的 Linux 操作系统做了详尽的介绍,包括 Linux 操作系统分析、开发环境创建、操作系统移植、驱动程序设计与 GUI 的开发(第6章)。为了便于教学,各章后给出了较多的思考题与习题。

本书在编写过程中,注意了内容上的由浅入深、循序渐进,既考虑到初学者便于理解掌握,也考虑到知识的完整性、详尽性。本书可作为普通高校电类、计算机类本科生或研究生嵌入式系统课程教材,也可作为工程技术人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式系统基础教程/于忠得,林敏,申华编著. —北京:国防工业出版社,2009.1
ISBN 978-7-118-06059-1

I. 嵌... II. ①于... ②林... ③申... III. 微型计算机-系统设计-教材 IV. TP360.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 181744 号

※

国防工业出版社出版发行
(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)
北京奥鑫印刷厂印刷
新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 19½ 字数 459 千字
2009 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 35.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

随着计算机技术、通信技术、集成电路技术的高速发展,嵌入式系统技术日益成熟并渗透到国民经济的各个领域。嵌入式系统研发人员的发展前景看好,社会需求旺盛,经常可以看到,已经毕业几年的电类专业本科生、硕士生个人承担万元以上的培训费,参加社会上的培训班,学习嵌入式系统技术,校内很多并不富裕的本科生自费购买各种嵌入式系统开发板自学。所有这些,都反映了人们对嵌入式系统知识的渴求以及社会对嵌入式系统研发技术人员的需求。面对这样一种形势,开设嵌入式系统课程教学的必要性、紧迫性摆在各高校面前。在现有情况下,如何安排这门课程教学计划、讲授哪些内容、如何取得好的教学效果,是高校相关教师需要探索、研究的课题。目前,国内自动化、电信、计算机等电类专业,在现有教学大纲和课程体系中,课程安排都比较饱满,很难将嵌入式系统的课程安排在40学时以上,原因是电子技术、计算机技术发展很快,不断有新的课程加入到现有教学计划中来,这种情况我们认为在近几年内不会有大的改变。

嵌入式系统是一门庞大的知识体系,涵盖的内容很多,包括嵌入式处理器、嵌入式外围电路、嵌入式操作系统的裁剪移植、TCP/IP协议栈应用、GUI应用、驱动程序开发、应用程序开发等。仅就嵌入式系统的硬件而言,所涵盖的内容就远远超过了目前电类专业所开设的所有有关微型计算机硬件方面的课程,包括微机原理、接口技术、单片机原理。在有限的时间内,针对初次学习本门课程的本科生,按照什么深度、宽度讲授本门课程,需要认真斟酌权衡。根据我们这几年的教学实践和与其他大学讲授本门课程的教师反复讨论,达成这样一个共识:对这门课程的讲授,应当全面介绍,有所侧重。全面介绍,就是全面介绍嵌入式系统各个层面的知识,包括硬件层面的ARM微处理器、外围电路,软件层面的操作系统裁剪移植、应用程序开发等,全面介绍的深度以掌握基本概念为准;有所侧重,就是将基础的知识讲深、讲透,主要是处理器内核部分、常用外围电路部分和底层驱动部分。这样做的目的是:学生通过本门课程的学习,对嵌入式系统有全面的了解,清楚各个层面研发的内容和应当具备的知识,对硬件基础知识有比较深入的了解和掌握。电类专业的学生,一般先期都学习过微机原理、接口技术、单片机原理、C语言课程,在这些课程基础上,再深入学习嵌入式处理器硬件知识,容易取得较好的学习效果。教学实践告诉我们,对于电类专业本科生,没有相当多的时间,很难将操作系统内核、功能,操作系统裁剪移植的具体过程讲明白。对操作系统这一部分内容,主张只介绍基本概念,详尽的技术细节、开发过程,留待研究生做课题阶段或工作初期阶段,边干、边学、边理解效果会更好。在有限的授课时间里,讲授过多会适得其反。

从目前已经出版的各类教材来看,找不到满足上述要求的教材。从教学角度出发,必须通过对很多现有教材、相关资料的裁剪拼凑才能满足教学需要。从学生购书角度来看,购买一本教材,但讲授和要求掌握的内容只占较少一部分,给教师和学生都带来一定的不便。

综合以上几方面的考虑,本教材的编写,旨在提供一本既适合高校教师使用,又适合电

类专业本科生、研究生初次学习本门课程的教材。第1章全面介绍嵌入式系统的基本概念,对各个层面所需的知识做简要的介绍。第2章详尽介绍 ARM 微处理器的编程模型,通过本章学习,可以掌握 ARM 微处理器的内核、硬件架构方面的知识。第3章详尽介绍 ARM 的指令系统,给出指令系统的全部知识细节,通过第2章和第3章的学习,可以掌握 ARM 微处理器硬件的全部知识。第4章介绍编程的基础知识,通过本章的学习和先期 C 语言的学习,可以初步掌握基于 ARM 系统的软件编程。第5章详尽介绍典型的 ARM7 微处理器——三星公司的 S3C44BOX,对嵌入在芯片内部的 10 种外设电路做了详尽的介绍,给出所有的技术参数和应用实例。本章的内容,可以支持基于 S3C44BOX 的工程设计。第6章的 6.1 节和 6.2 节,介绍各种常见的嵌入式操作系统、Linux 操作系统分析。对于缺少嵌入式操作系统基础知识的学生来讲,如果讲授时间有限,到此就可以了;如果是计算机类专业的学生,有良好的操作系统知识,并且讲授时间充裕,可以讲完 6.1 节和 6.2 节以后各节的内容。以后几节详尽介绍了 Linux 下的 C 语言编程基础、创建嵌入式 Linux 的开发环境、嵌入式 Linux 系统基于 ARM 平台的移植、基于嵌入式 Linux 系统的驱动开发、基于 Linux 的嵌入式 GUI 开发等内容。为了配合教学需要,各章后给出了较多的思考题与习题,可以帮助学生课后练习,帮助教师检验学生的掌握程度。

参加本教材编写的作者都是高校讲授本门课程的一线教师,有较深厚的嵌入式系统开发实践经验和教学经验。全书由大连工业大学于忠得主编、统稿,第2章、第3章、第5章由于忠得撰写,大连工业大学林敏参加了第2章撰写,第6章由东北软件学院申华撰写,第1章、第4章由大连工业大学王裕如撰写。

由于作者水平有限,书中难免会有不当之处,恳请各位专家与读者批评指正。

作者

2008 年 8 月

目 录

第 1 章 嵌入式系统基础	1
1.1 概述	1
1.1.1 嵌入式系统的产生和发展	1
1.1.2 嵌入式系统的定义	3
1.1.3 嵌入式系统的组成结构	3
1.1.4 嵌入式系统的特点	4
1.1.5 嵌入式系统的应用	4
1.1.6 嵌入式系统的发展趋势	5
1.2 嵌入式系统的硬件组成	6
1.2.1 嵌入式系统的基本硬件结构	6
1.2.2 嵌入式处理器	7
1.3 嵌入式系统的软件组成	11
1.3.1 嵌入式系统的软件组成结构	12
1.3.2 嵌入式高级编程语言	13
思考题与习题	14
第 2 章 ARM 微处理器的编程模型	15
2.1 ARM 微处理器的工作状态与工作模式	15
2.1.1 工作状态	15
2.1.2 工作模式	16
2.2 存储器组织	16
2.3 寄存器组织	17
2.3.1 ARM 状态下的寄存器组织	17
2.3.2 THUMB 状态下的寄存器组织	19
2.3.3 程序状态寄存器	20
2.4 异常	22
2.4.1 异常类型	22
2.4.2 进入异常与退出异常	23
2.4.3 异常向量与异常优先级	24
2.4.4 复位	25
思考题与习题	25

第3章 ARM 微处理器的指令系统	26
3.1 概述	26
3.1.1 指令	26
3.1.2 指令的条件域	28
3.2 指令的寻址方式	29
3.2.1 立即寻址	29
3.2.2 寄存器寻址	29
3.2.3 寄存器间接寻址	29
3.2.4 基址变址寻址	29
3.2.5 多寄存器寻址	30
3.2.6 堆栈寻址	30
3.3 ARM 指令集	31
3.3.1 转移指令	31
3.3.2 数据处理指令	33
3.3.3 乘法指令与乘加指令	41
3.3.4 加载 32 位操作数的“伪指令”	44
3.3.5 加载与存储指令	44
3.3.6 批量数据加载与存储指令	51
3.3.7 数据交换指令	54
3.3.8 程序状态寄存器访问指令	55
3.3.9 协处理器指令	58
3.3.10 异常产生指令	60
3.4 THUMB 指令集	60
3.4.1 数据处理指令	61
3.4.2 转移指令	62
3.4.3 加载/存储指令	62
3.4.4 软件中断指令	63
思考题与习题	63
第4章 编程基础	64
4.1 汇编语言的伪指令	64
4.1.1 符号定义伪指令	64
4.1.2 数据定义伪指令	65
4.1.3 汇编控制伪指令及其他伪指令	68
4.2 ARM 汇编程序设计	72
4.2.1 汇编语言程序中的文件格式	72
4.2.2 汇编语言的语句格式	73
4.2.3 汇编语言程序中常用的符号	73
4.2.4 ARM 汇编程序中的表达式	74

4.2.5	汇编语言的程序结构	76
4.2.6	C/C++与汇编语言的混合编程	77
4.3	汇编程序设计举例	79
4.3.1	汇编程序实例	79
4.3.2	基于S3C44B0X汇编程序实例	80
	思考题与习题	82
第5章	典型ARM7微处理器及应用	84
5.1	S3C44B0X微处理器简介	84
5.1.1	微处理器特性	84
5.1.2	微处理器的引脚布置与描述	86
5.2	存储器控制器	90
5.2.1	存储器空间分布	90
5.2.2	BANK0的配置	91
5.2.3	存储器的硬件接口	92
5.2.4	存储器控制器专用寄存器	97
5.2.5	配置SDRAM型存储器实例	104
5.3	时钟与电源管理	109
5.3.1	时钟的产生	109
5.3.2	电源管理	114
5.3.3	应用举例	120
5.4	CPU的内存配置与总线优先级	121
5.4.1	CPU单元的配置	122
5.4.2	总线优先级	125
5.4.3	CPU单元与总线优先级配置寄存器	125
5.5	I/O端口	127
5.5.1	I/O口的功能	128
5.5.2	I/O口控制寄存器	129
5.5.3	外部中断触发方式的配置	134
5.5.4	I/O口的应用	135
5.6	PWM定时器	140
5.6.1	工作原理	140
5.6.2	参数配置	144
5.6.3	定时器操作举例	148
5.6.4	定时器应用举例	152
5.7	通用异步串行接口	154
5.7.1	概述	154
5.7.2	UART工作原理	155
5.7.3	UART专用寄存器	159
5.7.4	应用举例	167

5.8	A/D 转换器	170
5.8.1	概述	170
5.8.2	A/D 转换器工作原理	170
5.8.3	应用技术	172
5.8.4	A/D 转换器专用寄存器	173
5.8.5	应用举例	174
5.9	实时时钟	177
5.9.1	实时时钟的基本性能	177
5.9.2	RTC 专用寄存器	179
5.9.3	应用举例	184
5.10	中断控制器	186
5.10.1	中断源的管理	187
5.10.2	中断的开放与禁止	194
5.10.3	中断优先级的管理	196
5.10.4	中断状态的查询	201
5.10.5	中断请求位的清 0	203
5.10.6	中断应用举例	204
5.11	看门狗定时器	207
5.11.1	WDT 的工作原理	208
5.11.2	WDT 专用寄存器	208
	参考题与习题	210
第 6 章	嵌入式操作系统	214
6.1	常见的嵌入式操作系统	214
6.1.1	嵌入式 Linux 操作系统	214
6.1.2	WinCE 操作系统	215
6.1.3	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 操作系统	217
6.1.4	VxWorks 操作系统	218
6.1.5	其他嵌入式操作系统	218
6.2	Linux 操作系统分析	219
6.2.1	Linux 进程管理	220
6.2.2	Linux 系统的存储管理	224
6.2.3	文件系统	230
6.3	Linux 下的 C 编程基础	239
6.3.1	Linux 的常用命令	239
6.3.2	vi 编辑器的使用	244
6.3.3	gcc 编译器的使用	246
6.3.4	gdb 调试器的使用	251
6.4	创建嵌入式 Linux 的开发环境	256
6.4.1	嵌入式交叉开发环境介绍	256

6.4.2	自己动手创建交叉编译环境	257
6.4.3	通过二进制软件包创建交叉编译环境	263
6.5	嵌入式 Linux 系统基于 ARM 平台的移植	263
6.5.1	BootLoader 的移植	263
6.5.2	内核的移植	271
6.5.3	根文件系统的构建	273
6.6	基于嵌入式 Linux 系统的驱动开发	276
6.6.1	设备驱动概述	276
6.6.2	Linux 设备驱动的分类和结构	277
6.6.3	Linux 设备驱动中的关键数据结构	282
6.6.4	Linux 设备驱动的具体实现	284
6.7	基于 Linux 的嵌入式 GUI 开发	289
6.7.1	常见的几种嵌入式 GUI 系统的分析与比较	289
6.7.2	MiniGUI 的移植与开发所需的环境支持	291
6.7.3	一个简单的 MiniGUI 程序	293
6.7.4	基于 Linux 的嵌入式软件开发者分类	300
	思考题与习题	301
	参考文献	302

第 1 章 嵌入式系统基础

随着网络与通信技术的不断发展,嵌入式系统逐步从低端应用进入到一个高、低端并行发展的阶段,目前,嵌入式系统已广泛应用于移动计算设备、网络设备、信息家电、工业控制设备、车载设备、娱乐设施、仪器仪表等场合,同时它与信息、网络、计算机是息息相关、同步更新的。本章主要对嵌入式系统的产生和发展、定义、组成结构、特点、应用和发展趋势等方面进行介绍。

1.1 概 述

1.1.1 嵌入式系统的产生和发展

1. 嵌入式系统的产生

嵌入式系统起源于微型计算机时代。20 世纪 60 年代末,随着微电子技术的发展,微处理器逐渐出现,计算机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、可靠性高等特点,迅速走出机房,深入到千家万户,人们进入 PC 时期。

随着微型计算机表现出来的高速数值解算能力,引起了控制专业人士的注意,他们首先将其应用到自动控制领域中,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,然而更多的场合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。这样一来,此类计算机便失去了原来的形态与通用的计算机功能,从而成为一种嵌入到对象体系中,实现对象体系智能化控制的计算机,称作嵌入式计算机系统,简称嵌入式系统。

2. 嵌入式系统的发展

嵌入式系统虽然诞生于微型计算机时代,但是由于嵌入式计算机系统要嵌入到对象体系中,实现的是对象的智能化控制,因此,它有着与通用计算机系统完全不同的技术要求与技术发展方向。通用计算机系统的技术要求是高速、海量的数值计算,在技术发展方向上追求总线速度的无限提升,以及存储容量的无限扩大。而嵌入式计算机系统要求的则是对象的智能化控制能力,在技术发展方向上追求的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。这种技术发展的分歧使嵌入式计算机系统走上了独立发展的道路。

随着现代微电子技术的发展以及软件技术的进步,嵌入式系统从诞生到现在,先后经历的四个发展阶段,每一个阶段都推进了嵌入式技术的变革。

以单片机为核心的低级嵌入式系统是嵌入式发展的第一阶段。20 世纪 70 年代以后,微电子技术迅速发展,尤其是集成电路方面,芯片由大体积、集成度不高发展为高集成、小体积、性能可靠及多功能,逐步从传统的电子系统发展到智能化的现代电子系统时

代。在这种情况下,人们逐渐将计算机系统全部或部分地集成到一个芯片中,实现计算机的芯片化,这就是通常所说的单片机。单片机一般都集成了8位或16位微处理器、RAM、ROM、串口、并口、定时器、ADC、D/A、看门狗、PWM定时器、中断控制器等。用户可以在单片机芯片外部增加若干接口电路,设计相应的控制程序就可以实现多种应用。因而,在嵌入式发展道路上,单片机以其体积小、价格低廉、可靠性高等方面的优势逐步取代微型计算机来满足对象体系的嵌入式要求。以单片机为核心的低级嵌入式系统应用于专业性很强的工业控制系统中,通常不含有操作系统,软件采用汇编语言进行编程。该阶段的主要特点是:系统结构和功能单一,处理效率不高,存储容量小,用户接口简单或没有用户接口;但使用简单,成本低。

进入20世纪80年代,随着微电子技术的发展,出现了更为先进的微处理器,这些器件的出现使得各种信号处理得以实现,如数字声频处理、数字图像处理、信号变换、数字滤波、频谱分析等,使DSP从理论研究进入到实际应用阶段。1983年,美国TI(Texas Instruments)公司推出TMS320系列的第一个产品,标志着实时数字信号处理领域的重大突破。DSP技术的迅速发展,不仅使嵌入式系统应用到通信、控制、计算机等领域,同时也使嵌入式系统发展到以嵌入式微处理器为硬件核心,以简单操作系统为软件核心的初级嵌入式系统,即嵌入式系统发展的第二阶段。这一阶段的主要特点是:处理器种类多,通用性较弱;系统效率高,成本低;操作系统具有兼容性、扩展性,但用户界面简单。

20世纪80年代后,软件技术进步使嵌入式系统发展到以Internet为标志的高级嵌入式系统阶段。80年代后,软件技术的进步主要体现在编程语言和实时操作系统的使用上。在嵌入式系统发展初期阶段,为了保障嵌入式软件的空间和时间效率,只能使用汇编语言进行编程。而随着微电子技术的进步,系统对软件时空效率的要求并不十分苛刻,嵌入式软件可以采用PL/M、C等高级编程语言。这也使嵌入式系统能运行于各种不同嵌入式处理器上,兼容性好。另外,嵌入式系统大多是实时操作系统,对于复杂的嵌入式系统而言,除了需要高级开发语言以外,还需要嵌入式实时操作系统的支持。自嵌入式系统诞生以后,一些软件公司相继推出嵌入式实时操作系统和各种开发工具。如ISI(Integrated System Incorporation)公司的pSOS、PRISM+,WindRiver公司的VxWorks、Tornado和Linux等。这些嵌入式操作系统(Embedded Operating System, EOS)一般具有内核小、效率高、可裁减、可配置、可扩充、可移植等特点,支持主流的嵌入式微处理器。开发工具包括硬件仿真器、源码级的交叉调试器等。这些都为丰富嵌入式系统应用程序接口以及多任务、多功能的用户界面提供了广阔的空间。

从20世纪90年代到现在,嵌入式系统进入了以Internet为标志的高级嵌入式系统的发展阶段。90年代以后,由于受到分布式控制、信息电器、数字化通信、网络应用等强烈应用需求的影响,嵌入式系统在软件和硬件技术方面得到迅速发展。首先,在硬件方面,出现了集成度更高、功能强大、种类多、低功耗、低成本、面向不同应用领域的32位微处理器,而且这些高性能的32位微处理器在嵌入式产业逐渐占主导地位;其次,在软件方面,由于微处理器性能的提高,使嵌入式系统应用产品具有高度智能的功能,嵌入式软件在整个系统中所占的份量越来越重;由于嵌入式操作系统的功能不断丰富,嵌入式操作系统在嵌入式软件中使用也越来越多;最后,随着网络应用的不断深入,随着信息电器的发展,嵌入式系统的应用已经逐步与Internet有机地结合在一起,成为嵌入式系统发展的未来。

1.1.2 嵌入式系统的定义

嵌入式系统从应用角度出发,它是 20 世纪 70 年代以后计算机发展的一个分支。随着嵌入式系统的发展,对嵌入式系统的定义多种多样。如根据国际电气和电子工程师协会(IEE)的定义,嵌入式系统是“devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants”(用于控制、监视或辅助操作机器设备的装置)。这主要是从应用角度定义的,从中可以看出,嵌入式系统是一个软件和硬件紧密结合的综合体,还可以涵盖机械等附属装置。中国计算机学会的定义是“嵌入式系统是以嵌入式应用为目的的计算机系统”,并分为系统级、板级、片级。系统级包括各类工控器、如 PC104 等;板级包括各类带有 CPU 的主板和 OEM 产品;片级包括各种以单片机、DSP、微处理器为核心的产品。

上述定义并不能充分体现出嵌入式系统的特点,目前国内普遍认同的定义是:嵌入式系统是以应用为核心,以计算机技术为基础,软件、硬件可裁减,适应于应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗等方面严格要求的专用计算机系统。简单地说,嵌入式系统是嵌入到目标体系中的专用计算机系统。嵌入性、专用性和计算机系统是嵌入式系统的三个基本要素。实际上,嵌入式系统是把计算机直接嵌入到应用系统中,它融合了计算机软件、硬件技术以及通信技术和微电子技术,是上述技术综合发展过程中的一个标志性成果。

值得注意的是,嵌入式系统与嵌入式设备不是一个概念。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、手机、MP3 等。

1.1.3 嵌入式系统的组成结构

嵌入式系统虽然在不同的应用场合呈现出不同的表现形式,但其核心的计算机系统与通用的计算机系统一样,有硬件和软件两部分组成,如图 1-1 所示。

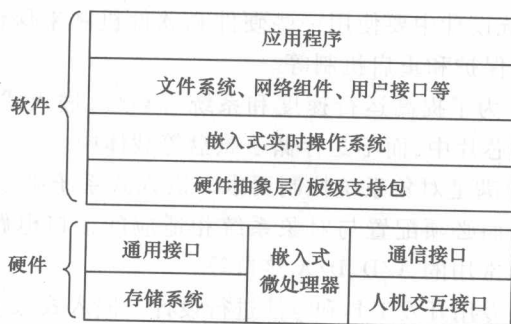


图 1-1 嵌入式系统的组成结构

嵌入式系统硬件主要包括嵌入式微处理器、通用接口、存储系统、通信接口及人机交互接口等。硬件环境是整个嵌入式操作系统和应用程序运行的硬件平台,不同的应用通常有不同的硬件环境。硬件平台的多样性是嵌入式系统的一个主要特点。

嵌入式系统软件主要包括硬件抽象层/板级支持包,嵌入式实时操作系统,文件系统、网络组件、用户接口等。可以说,嵌入式实时操作系统是嵌入式软件的核心和灵魂,它在复杂的嵌入式系统中发挥着非常重要的作用,通过操作系统实现进程管理、进程间的通信、内存管理、文件管理、驱动程序、网络协议等功能。嵌入式操作系统具有内核较精简、

可配置、与高层应用紧密关联等特点,具有相对不变性。嵌入式应用程序运行于操作系统之上,利用操作系统提供的机制完成特定功能的嵌入式应用。不同的系统需要设计不同的嵌入式应用程序。

1.1.4 嵌入式系统的特点

嵌入式系统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,主要有如下特点:

(1)专用的计算机系统。嵌入式系统的软件和硬件都是面向特定应用对象和任务设计的,具有很强的专用性和多样性。它的多样性体现在基本计算机系统架构上,针对不同应用领域,系统结构不尽相同,处理器、硬件平台、操作系统、应用软件等种类繁多。它的专用性体现在嵌入式微处理器的专用性,嵌入式微处理器一般根据特定的应用场合、特定用户群设计,通常都具有功耗低、体积小、集成度高、芯片内部集成大量外设等特点,能够把通用计算机系统中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设计趋于小型化,同时与网络的耦合也越来越紧密。应注意的是,嵌入式系统的软件和硬件可裁减性要满足对象要求的最小软件和硬件配置。

(2)嵌入式系统必须满足环境的要求。由于嵌入式系统是嵌入到对象系统中的,因而它不仅要满足对象系统的温度、压力、湿度等周围环境的要求,同时还要满足电气环境(干扰、辐射等)的要求。

(3)嵌入式系统具有较长的生命周期。嵌入式系统和具体应用有机地结合在一起,其升级换代也是和具体产品同步进行的,因此,嵌入式系统产品一旦进入市场,就具有较长的生命周期。

(4)嵌入式系统的实时性和可靠性。大多数嵌入式系统对实时性和可靠性都有要求:嵌入式的实时性要求体现在嵌入式系统需要对外部事件迅速做出反应;嵌入式的可靠性要求体现在嵌入式系统设计中要使用一些硬件和软件机制来保证系统的可靠性,如硬件的看门狗、软件的内存保护和重启机制等。

(5)软件代码固化。为了提高运行速度和系统可靠性,嵌入式系统中的软件一般都固化在 FLASH 型存储器芯片中,而不是存储于磁盘等载体中。

(6)嵌入式系统必须满足对象系统控制要求。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,因而必须配置与对象系统相适应的接口电路,如 PWM 接口、现场总线接口、USB 接口以及常用的 A/D、D/A 接口等。

(7)嵌入式系统需要专用开发工具和方法进行设计。嵌入式系统本身不具备自主开发能力,即使设计完成以后用户通常也不能对其中的程序功能进行修改,必须有一套开发工具和方法才能进行开发。嵌入式系统的开发工具由软件和硬件组成。软件包括交叉编译器、模拟器、调试器和集成开发环境等;硬件包括在线仿真器、在线调试器、片上调试器等。

1.1.5 嵌入式系统的应用

嵌入式系统经过几十年的发展已经应用到各个领域,并在各个领域的产业化方面发挥着重要作用。其主要应用于工业控制(工控设备、智能仪表、汽车电子、工业机器人等)、消费电子(家用电器、智能玩具、移动存储、通信设备等)、网络通信(网络设备、传感器网络、电子商务等)、航空和军事国防(飞机导航、军事电子等)等领域,如图 1-2 所示。

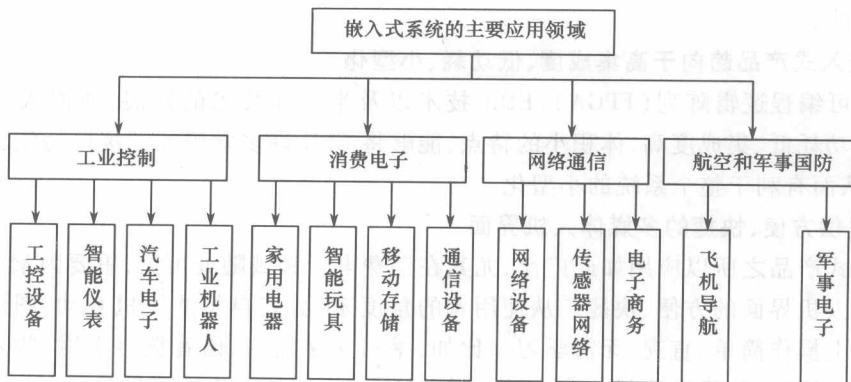


图 1-2 嵌入式系统的主要应用领域

在日常生活中,嵌入式系统随处可见,如全自动洗衣机、智能电饭煲、冰箱、手机等。实际上,凡是带有一点“智能”的家电都嵌入了嵌入式系统,嵌入式系统具有广泛的适应能力和多样性。

1.1.6 嵌入式系统的发展趋势

随着网络技术的日益成熟,支持网络功能的嵌入式产品将得到越来越广泛的应用,这不仅将成为嵌入式系统发展的一个热点,同时也为嵌入式系统的发展注入了新的生命,使嵌入式系统向着功能密集型方向发展。

1. 嵌入式应用软件开发需要强大的开发工具和操作系统的支持

随着嵌入式技术的不断发展,嵌入式系统的应用领域也越来越广泛,使嵌入式产品逐渐向多功能方向发展,功能复杂的嵌入式系统(高端产品)在应用中所占的比例也越来越高,如机顶盒、多媒体产品、掌上电脑等产品,都提供灵活的网络连接、轻便的移动服务以及很好的人机互动界面等。

为了满足上述的应用功能的升级,一方面不仅要提高系统的硬件平台,如采用更先进的 32 位或 64 位精简指令集计算机(RISC)处理器,以及实时多任务编程技术和交叉开发工具技术等;另一方面这些复杂的嵌入式系统通常都有嵌入式操作系统支持。目前,国内常用的嵌入式操作系统有 pSOS、PRISM +、VxWorks、 μ COS - II、Linux 等,这些都为实现复杂控制功能、简化应用程序设计、保障软件质量和缩短开发周期提供了有力的支持。

2. 制定嵌入式系统行业标准及行业性嵌入式硬件平台

目前,嵌入式系统还没有统一的、规范的行业标准,但是随着嵌入式系统应用领域的不断扩展,在不同行业之间形成统一的行业标准成为必然。如近几年来,汽车领域规定将 OSEK 标准作为开发汽车嵌入式系统的公用平台和应用编程接口,数字电视产业也制定了本行业的开发标准。这些都有助于嵌入式系统的快速发展。

3. 联网成为必然趋势

为适应嵌入式分布处理结构和应用上网需求,面向 21 世纪的要求配备标准的一种或多种网络通信接口。针对外部联网要求,嵌入设备必需配有通信接口,相应需要 TCP/IP 协议软件支持;由于家用电器相互关联(如防盗报警、灯光能源控制、影视设备和信息终端交换信息)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、CAN、Bluetooth 或 IrDA 通信接口,同时也需要提供相应的通信组网协议软件和物理

层驱动软件。

4. 嵌入式产品趋向于高集成度、低功耗、小型化

由于可编程逻辑阵列(FPGA)、EDA技术以及半导体技术的发展,使嵌入式系统的CPU具有功耗低、集成度高、体积小特点,能够将CPU许多常用外围接口功能集成在芯片内部,从而有利于整个系统的小型化。

5. 提供方便、快捷的多媒体人机界面

嵌入式产品之所以应用如此广泛,尤其在消费电子领域随处可见,重要因素之一是它的多媒体人机界面的方便、快捷。从使用者的角度来说,它自然的人机互动、图形化使用户在使用上操作简单、直观、无需学习。比如,手写文字输入、语音拨号上网、收发电子邮件以及彩色图形、图像已取得初步成效。目前,一些先进的个人数字助理(Personal Digital Assistant, PDA)在显示屏幕上已实现汉字写入、短消息语音发布功能,但离掌式语言同声翻译还有很大距离。

1.2 嵌入式系统的硬件组成

与通用计算机系统一样,嵌入式系统作为专用的计算机应用系统,由嵌入式系统的硬件和软件两大部分构成。本节主要介绍嵌入式系统硬件组成。

1.2.1 嵌入式系统的基本硬件结构

嵌入式系统的硬件由嵌入式微处理器、存储系统(程序存储器和数据存储器)、可编程逻辑器件、电源模块、各种输入/输出(I/O)接口(A/D、D/A和通用I/O等)、通信模块、人机接口、嵌入式系统周边元器件、总线以及外部设备和插件等组成。嵌入式系统的硬件层以嵌入式微处理器为核心,在嵌入式微处理器基础上增加电源电路、时钟电路和存储电路等,构成嵌入式核心模块,即嵌入式最小系统。对于功能复杂的嵌入式系统可以在最小模式下进行扩展。比如,有些应用场合要求具有A/D、D/A、PWM等接口。另外,嵌入式硬件是可以根据实际应用进行选择或裁减的,以最少成本满足应用系统的要求。图1-3给出了典型嵌入式系统硬件组成结构。

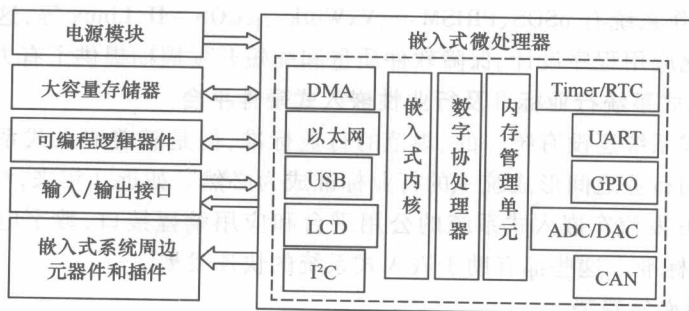


图 1-3 典型嵌入式系统硬件组成

嵌入式微处理器以片上系统(System on a Chip, SoC)技术为多,通常包括嵌入式内核、数字处理器、内存管理单元(MMU)、各个通信接口(CAN总线接口、以太网接口、USB接口、I²C总线接口以及UART接口等)、通用的GPIO接口和定时器Timer/RTC、液晶显示器LCD、ADC/DAC和DMA控制器等模块。目前,常用的处理器为ARM微处理器,在

信息处理能力要求比较高的场合,可以采用 DSP 进行信号处理。对于嵌入式微处理器通常在 TI 或 Motorola 或三星公司产品中选择,如 PowerPC 微处理器、ARM 微处理器、TMS320C6000 系列 DSP、TMS320C5000 系列 DSP、TMS320C2000 系列 DSP 以及 TI 公司其他 DSP 系列。

电源模块主要为嵌入式微处理器及周边硬件电路提供电源,数字电路常用的电压为 1.85V、 $\pm 2.5V$ 、3.3V、 $\pm 5V$ 等,而模拟电路常用的电压为 $\pm 5V$ 、 $\pm 12V$ 、 $\pm 15V$ 、 $\pm 24V$ 等。

嵌入式系统采用大量存储器的目的:一是为了使操作系统和应用程序固化在 ROM 中;二是对于多功能的复杂嵌入式系统,数据信息量比较大,需要足够大存储空间保存有用数据信息。在嵌入式系统的硬件设计中,经常使用怀特电子公司的高可靠性存储系统, IDT 公司 FIFO 及双口 RAM、Cypress 公司高速 SRAM 系列、现代电子公司 SDRAM 系列等。

随着 EDA 技术的发展,嵌入式系统硬件也常采用可编程逻辑阵列技术,即现场可编程门阵列(Field Programmable Gates Array, FPGA)或复杂可编程逻辑器件(Complex Programmable Logic Device, CPLD)。目前,广泛使用 Xilinx 公司的 VirtexII Platform FPGA、Virtex(E)系列 FPGA、Spartan(XL)系列 FPGA、SpartanII(E)系列 FPGA、XC95(XL)系列 CPLD、Coolrunner 系列 CPLD 等。

输入/输出接口一般用于嵌入式系统接收来自传感器、变送器、行程开关、位置开关等监测部件的输出信号,或向伺服机构输出控制信号。具体形式取决于应用场合。

嵌入式系统必备接插件常采用 AMP 公司系列的接插件和 AI 公司 PCB 插座系列的插件。

1.2.2 嵌入式处理器

1. 嵌入式处理器简介

嵌入式处理器是嵌入式系统的硬件核心部件。现在几乎所有的嵌入式系统都是基于处理器设计的。嵌入式处理器的发展历程也是多样的,在早期的嵌入式系统中,通常采用个人计算机中的处理器,个人计算机中的处理器又称通用目的处理器。它的通用体现在它作为计算机的处理器提供全部的特性、广泛的功能和大量的应用编程资源,可用于各种场合中。这些通用的处理器除了具有常用单元以外,还具有高速缓存逻辑(Cache),有的还具有执行快速浮点运算的数字协处理器,同时提供支持各种各样外部设备的接口,因而它具有能源消耗大、产生热量多、体积大、成本高等特点。由于嵌入式系统是针对一定应用对象而设计的,所以通用目的处理器的这些特点不利于嵌入式系统的发展。

随着现代微电子技术的发展,尤其是近年来,EDA 技术和 FPGA 技术的不断发展,微处理器的制造技术越来越先进,嵌入式处理器应运而生。嵌入式处理器是为完成特殊的应用而设计的特殊目的处理器。随之而来,越来越多的嵌入式系统不再采用通用目的处理器进行设计,而采用嵌入式处理器。

为了满足不同应用对象的要求,嵌入式处理器向不同侧重点发展。例如,有的嵌入式处理器注重尺寸、能耗和价格,这类处理器一般具有体积小、无数字协处理器功能,内存容量小等特点。通常是面向应用型的需要,主要是人机交互功能,如 PDA 设备等。有的嵌入式处理器注重性能,这类嵌入式处理器通常功能强,集成度高,能够满足计算密集型、速