

新编电气与电子信息类本科规划教材

单片微型计算机

与接口技术(第3版)

李群芳 张士军 黄建 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

新编电气与电子信息类本科规划教材

单片微型计算机与接口技术

(第3版)

李群芳 张士军 黄 建 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书从嵌入式系统概念出发,以应用最广泛的 51 系列单片机为主介绍嵌入式系统开发技术。主要内容包括:单片机的内部结构、指令系统、内部各功能部件的工作原理、应用编程及外部扩展技术。本书力图体现实用性和先进性,采用汇编语言和 C 语言相对照的编程方式,对串行总线 I²C、SPI、CAN 及新型接口作了详细论述,教材的实训部分以可在系统编程(ISP)的 51 系列单片机开发板作为读者的实践环节,集知识性、趣味性、实用性于一体,使学生带着兴趣学习和实践。本书的知识点安排得当,编排由浅入深、条理清晰,并精心安排了大量应用实例,每章末有小结、思考题和习题,书后附参考答案。

本书可作为计算机类、信息类、机电类专业本科生的教材,也可作为相关专业高职高专学生的教材或教学参考书,还可供相关工程技术人员参考。

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

单片微型计算机与接口技术/李群芳,张士军,黄建编著. —3 版. —北京:电子工业出版社,2008. 5

新编电气与电子信息类本科规划教材

ISBN 978-7-121-06586-6

I. 单… II. ①李…②张…③黄… III. 单片微型计算机—高等学校—教材 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 060171 号

策划编辑:凌 毅

责任编辑:凌 毅

印 刷:北京民族印刷厂

装 订:北京鼎盛东极装订有限公司

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:21.75 字数:560 千字

印 次:2008 年 5 月第 1 次印刷

印 数:5000 册 定价:29.80 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 zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

再 版 前 言

嵌入式系统是嵌入式计算机(Embedded Computer) 嵌入到各种设备及应用产品内部的计算机系统,它体积小,结构紧凑,使设备及应用产品智能化。在数字化产品日益普及的今天,从手机、MP3 到飞机的自动导航系统,军事、工业、商业、家电、通信、网络产品无一不充斥着嵌入式系统,可以说,它无处不有,无所不在。

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等部分组成,因此,嵌入式系统开发技术、嵌入式芯片设计、嵌入式操作系统、嵌入式软件、嵌入式系统平台,是当今最热门的课题。

作为嵌入式系统控制核心的单片机(又称为微控制器),以体积小、功能全、性价比高等诸多优点而独具特色。51 系列单片机是国内目前应用最广泛的单片机之一,随着嵌入式系统、片上系统等概念的提出和普遍接受及应用,51 系列单片机的发展又进入了一个新的阶段。许多专用功能芯片的内核集成了 51 系列单片机,与 51 系列单片机兼容的微控制器以 IP 核的方式不断地出现在 FPGA 的片上系统中。随着基于 51 系列单片机的嵌入式实时操作系统的出现与推广,在很长一段时间内,51 系列单片机仍将占据嵌入式系统产品的中、低端市场。

如果说 C 语言程序设计课程是软件设计的基础课,那么单片机以其系统构架完整、价格低廉、学生能自构系统,而成为工科学生硬件设计基础课。本书以 51 系列单片机为背景,介绍嵌入式系统应用软件、硬件设计的基本技术,为以后学习高端的、更复杂的嵌入式系统打下基础。本书的主要特点有:

1. 在内容的编排上注意由浅入深,方便自学,通过大量的典型例题,使学生重点掌握嵌入式系统的构成、基本工作原理、软件和硬件的开发方法,全书以表格、示意图和语言描述相结合的方式,使基本理论的表述一目了然,方便掌握和记忆。

2. 注意理论联系实际,使学生掌握以单片机为核心的嵌入式系统的开发技术。书中编有项目实训,并提供一套价格低廉的在系统可编程(ISP)实验板作为实践平台。该板兼实验功能和编程器功能于一体,使读者在家中也能开发自己的嵌入式小系统。实践训练中介绍了单片机仿真软件和在系统编程软件等开发软件的使用方法,实验指导中的示例程序有较高的参考价值。

3. 本书力图反映单片机领域的新技术、新器件,主要体现在:

- (1)采用汇编语言和 C 语言对照的编程方法。对于 IT 行业工程师来说,两种语言的编程方法都必须熟悉。这是因为汇编语言的代码效率高,实时性强,从中可以理解单片机的工作机理,而且目前不少资料使用的是汇编语言。而对复杂的运算或大型程序,用汇编语言编程非常耗时,而用 C 语言编程无须考虑具体的寄存器或存储器的分配等细节,由 C51 编译系统安排,从而可以加快开发者的编程速度,缩短开发周期。为发挥两种语言的长处,书中介绍了 C 语言和汇编语言的混合编程方法。对于学过 C 语言的读者,编写 C 语言的程序是轻而易举的事情。为了照顾没学过 C 语言的读者,本书对 C 语言的基本语法也作了介绍。对于两种编程语言的教学,教学单位可根据情况进行取舍,另一种语言让学生参考或自学。

(2)随着非总线扩展芯片的增多,书中专门对串行总线 I²C、SPI、CAN 作了详细论述,并介绍了一些新型的串行器件,如串行的 EPROM、串行 D/A、串行 A/D 等。书中还以一定的篇幅介绍 V/F(电压/频率转换)、F/V(频率/电压转换)、增强型单片机中的定时/计数器 2、 μ P 监控器及看门狗等,以使读者能适应单片机技术的新发展。

对于基础性教材,不在于技术水平多高,而在于教材的知识点是否安排得当,是否好教好学。本书的前两版得到读者的认可,全国有数十所院校采用本书作为教材,感谢老师们的支持和厚爱。本次 3 版体现如下思想:

1. 在实际的嵌入式系统的开发中,工程师们以 C 语言为主、汇编为辅,再版中加强了 C 语言,对原来示例(包含实验示例)中只有汇编语言程序的,补充了 C 语言。学生很多都有 C 语言基础,有汇编语言和 C 语言的对照,对两种语言的理解和提高是很有帮助的,而老师教学以一种语言为主,另一种语言只要求引进门,后面例子的另一种语言程序由学生自己看。

2. 当前处于科技高度发展、知识爆炸时代,学生要学的知识越来越多,而学时有限,学校的主要任务是培养学生科学正确的思维方法,打牢基础理论,掌握基本技能。本人长期从事“单片机原理”和“微机原理”的教学,深知这两门课程的教学内容很多概念是相同的,“微机原理”学的是早已淘汰的 8086,如果不外买实验箱,根本无法做硬件实验,因为当今的 PC 的 PCI 总线太复杂,自己完全无法做硬件实验,这样,除了学原理,没有实用价值。而“微机原理”中的汇编程序设计方法、计算机系统结构、接口、中断、通信等内容,完全可以在单片机中学到,而且单片机麻雀虽小而五脏俱全,系统构架完整、价格低廉、学生能自构系统,具备从理论到实践的学习条件,因此本版加强了微机原理的一些概念,意在以“单片机原理”课程取代“微机原理”课程。此观点如何,很希望和老师们讨论。

3. 增强了实践部分的示例,介绍了新型的现场总线 CAN。

4. 当前网络信息发达,而纸张价格提升,为节约资源,减少读者购买教材的开支,不仅在排版上想办法,增加内容而尽可能地少增加页码,而且将第 2 版中的附录 C、D 放在华信资源教育网(www.huaxin.edu.cn 或 www.hxedu.com.cn)上。

在教学中,可根据专业需求、学时、对象安排教材的教学内容,其中 * 为任选,如果学时充裕,可作为教学内容,如果学时紧张,可作为毕业设计或日后应用设计的参考资料。

本书由李群芳主编,张志军副教授、董毅副教授、肖看博士、黄建博士、丁国荣工程师、黄亮博士等参与编写了其中某些章节和思考题与习题解答工作,李熠、冷岩松、张祎然、陶云彬做了实验验证工作,姚方、姚园等人完成了书中部分例题和习题的文字录入及电路绘制等工作。在此,对他们的辛勤劳动表示感谢。

感谢本书的主审谢瑞和教授,在百忙之中抽出时间认真地审阅了全书。

由于计算机的发展日新月异,本人水平有限,教材不尽人意之处,敬请读者批评指正。

本书配有多媒体电子课件,对采用本书作为教材的教师提供。教材课件索取、配套 ISP 实验板的咨询及对本教材的意见和建议请发至:

E-mail: call_lqf@yahoo.com.cn

联系电话:027-87543581 李群芳

编 者

2005 年 5 月于华中科技大学

目 录

绪论	1
* 第 0 章 计算机的基础知识	8
0.1 微型计算机的基本结构和工作原理	8
0.1.1 微型计算机的系统结构	8
0.1.2 微型计算机的基本工作原理	9
0.1.3 微型计算机的主要技术指标	9
0.2 计算机中的数制与码制	10
0.2.1 计算机中的数	10
0.2.2 计算机中的有符号数的表示	11
0.2.3 进位和溢出	13
0.2.4 BCD 码	14
0.2.5 BCD 码的运算	15
0.2.6 ASCII 码	15
0.3 小结	15
思考题与习题 0	16
第 1 章 MCS-51 单片机结构	17
1.1 MCS-51 单片机内部结构	17
1.1.1 概述	17
1.1.2 CPU	17
1.2 存储器	18
1.2.1 程序存储器	19
1.2.2 外部数据存储器	20
1.2.3 内部数据存储器	20
1.3 特殊功能寄存器	22
1.4 时钟电路与复位电路	24
1.4.1 时钟电路	24
1.4.2 单片机的时序单位	24
1.4.3 复位电路	25
1.5 引脚功能	26
1.5.1 可总线扩展的单片机引脚	26
1.5.2 不可总线扩展的单片机引脚	26
1.6 小结	27
思考题与习题 1	28

第 2 章 51 系列单片机的指令系统	29
2.1 寻址方式	30
2.1.1 立即寻址	30
2.1.2 直接寻址	30
2.1.3 寄存器寻址	30
2.1.4 寄存器间接寻址	31
2.1.5 变址寻址	31
2.1.6 相对寻址	31
2.1.7 位寻址	32
2.2 数据传送与交换指令	32
2.2.1 传送类指令	32
2.2.2 交换指令	35
2.3 算术运算和逻辑运算指令	35
2.3.1 算术运算和逻辑运算指令对标志位的影响	36
2.3.2 以 A 为目的操作数的算术运算和逻辑运算指令	36
2.3.3 以 dir 为目的操作数的逻辑运算指令	37
2.3.4 加 1、减 1 指令	37
2.3.5 十进制调整指令	37
2.3.6 专对 A 的指令	38
2.3.7 乘、除法指令	38
2.3.8 指令综合应用举例	38
2.4 控制转移指令	39
2.4.1 调用程序和返回类指令	40
2.4.2 转移指令	41
2.4.3 空操作指令	43
2.4.4 指令应用举例	43
2.5 位操作指令	44
2.6 小结	46
思考题与习题 2	46
第 3 章 MCS-51 单片机汇编语言程序设计	48
3.1 概述	48
3.2 伪指令	49
3.3 顺序程序设计	51
3.4 分支程序设计	53
3.5 循环程序设计	56
3.6 位操作程序设计	60
3.7 子程序	61
3.8 小结	63
思考题与习题 3	63

* 第 4 章 单片机的 C 语言编程——C51	65
4.1 C51 程序结构	65
4.2 C51 的数据类型	66
4.3 数据的存储器类型和存储器模式	67
4.3.1 数据的存储器类型	67
4.3.2 存储器模式	68
4.3.3 变量说明举例	68
4.4 指针	68
4.4.1 指针和指针变量	68
4.4.2 指针变量的数据类型和存储类型	69
4.4.3 指针变量的说明	69
4.4.4 指向数组的指针变量	70
4.5 C51 对 SFR、可寻址位、存储器和 I/O 口的定义	71
4.5.1 特殊功能寄存器 SFR 定义	71
4.5.2 对位变量的定义	71
4.5.3 C51 对存储器和外接 I/O 口的绝对地址访问	72
4.6 C51 的运算符	73
4.7 函数	74
4.7.1 函数的分类	74
4.7.2 函数的定义	74
4.7.3 函数的调用	74
4.7.4 对被调函数的说明	75
4.8 C 语言编程实例	75
4.8.1 C 语言程序的反汇编程序(源代码)	76
4.8.2 顺序程序的设计	77
4.8.3 循环程序的设计	78
4.8.4 分支程序的设计	79
4.9 汇编语言和 C 语言的混合编程	81
4.9.1 C 语言程序和汇编语言程序参数的传递	81
4.9.2 C 语言程序调用汇编语言程序举例	82
4.9.3 C 语言和汇编语言混合编程传递的参数多于 3 个的编程方法	84
4.10 小结	88
思考题与习题 4	89
第 5 章 输入、输出接口 $P_0 \sim P_3$	91
5.1 $P_0 \sim P_3$ 并行接口的功能和内部结构	92
5.1.1 端口功能	92
5.1.2 端口的内部结构	92
5.2 编程举例	94
5.3 用并行口设计 LED 数码显示器和键盘电路	97

5.3.1	用并行口设计 LED 显示电路	97
5.3.2	用并行口设计键盘电路	101
5.4	小结	104
	思考题与练习 5	104
第 6 章	MCS-51 单片机的中断系统	105
6.1	8XX51 中断系统结构	105
6.1.1	中断源	106
6.1.2	中断控制的有关寄存器	106
6.2	中断响应过程	108
6.2.1	中断处理过程	108
6.2.2	中断请求的撤除	109
6.3	中断的程序设计	110
6.3.1	汇编语言中断程序的设计	110
6.3.2	C51 中断程序的设计	112
6.4	外部设备中断的接入	114
6.5	小结	114
	思考题与习题 6	115
第 7 章	单片机的定时/计数器	116
7.1	定时/计数器的结构和工作原理	116
7.2	定时/计数器的寄存器	117
7.2.1	定时/计数器方式寄存器 TMOD	117
7.2.2	定时/计数器控制寄存器——TCON	118
7.3	定时/计数器的工作方式	118
7.4	定时/计数器的应用程序设计	119
7.4.1	定时/计数器的计数初值 C 的计算和装入	119
7.4.2	定时/计数器的初始化编程	120
7.4.3	应用编程举例	120
7.4.4	门控位的应用	125
* 7.5	定时/计数器 T ₂	126
7.5.1	定时/计数器 T ₂ 的结构和外部引脚	126
7.5.2	定时/计数器 T ₂ 的寄存器	127
7.5.3	定时/计数器 T ₂ 的工作方式	128
7.6	小结	130
	思考题与习题 7	131
第 8 章	单片机的串行接口	132
8.1	概述	132
8.1.1	同步和异步方式	132
8.1.2	通信方向	133
8.1.3	串行通信接口的任务	133

8.1.4	串行通信接口	134
8.1.5	波特率和发送接收时钟	134
8.1.6	通信线的连接	135
8.1.7	关于 RS-232	136
8.1.8	单片机串行通信电路	137
8.2	单片机串行口的结构与工作原理	138
8.2.1	串行口结构	138
8.2.2	工作原理	139
8.2.3	波特率的设定	140
8.3	串行口的控制寄存器	140
8.3.1	串行口的控制寄存器 SCON	140
8.3.2	电源控制寄存器 PCON	141
8.4	串行口的工作方式	141
8.5	串行口的应用编程	142
8.5.1	查询方式	142
8.5.2	中断法	143
8.5.3	串行通信编程实例	143
8.6	利用串行口方式 0 扩展 I/O 口	149
* 8.7	单片机和 PC 的串行通信	150
8.8	小结	155
	思考题与习题 8	156
第 9 章	单片机总线与系统扩展	157
9.1	单片机系统总线和系统扩展方法	157
9.1.1	单片机系统总线信号	157
9.1.2	外围芯片的引脚规律	158
9.1.3	系统扩展的方法	159
9.1.4	地址译码器	160
9.2	存储器的扩展	162
9.2.1	存储器的基本知识	162
9.2.2	程序存储器的扩展	164
9.3	数据存储器的扩展	168
* 9.4	同时扩展 SRAM 和大于 64KB FLASH 的例子	170
9.5	并行 I/O 接口的扩展	172
9.5.1	通用锁存器、缓冲器的扩展	173
9.5.2	可编程并行接口芯片的扩展	174
9.6	存储器和 I/O 口综合扩展电路	178
* 9.7	扩展多功能接口芯片 8155	178
9.8	小结	182
	思考题与习题 9	183

第 10 章 单片机应用接口技术	185
10.1 并行 D/A 接口技术	185
10.1.1 D/A 概述	185
10.1.2 DAC0832 的扩展接口	186
* 10.1.3 DAC1210 的扩展接口	189
10.2 A/D 接口技术	189
10.2.1 A/D 概述	189
10.2.2 ADC0809 的扩展接口	190
* 10.2.3 AD574 的扩展接口	192
* 10.3 V/F(电压/频率)转换接口	195
* 10.4 F/V(频率/电压)转换接口	196
10.5 人机接口技术	197
10.5.1 键盘接口扩展	198
10.5.2 LED 显示器扩展	199
* 10.5.3 用 8279 扩展键盘与 LED 显示器	199
10.5.4 LCD 显示器扩展	205
10.6 隔离与驱动接口	209
10.7 小结	211
思考题与习题 10	211
* 第 11 章 串行总线技术	212
11.1 I ² C 总线扩展技术	212
11.1.1 I ² C 总线简介	212
11.1.2 I ² C 总线的通信规程	213
11.1.3 串行 I ² C E ² PROM AT24CXX	213
11.1.4 I ² C 总线的编程实现	217
11.1.5 串行 E ² PROM 和 8XX51 接口实例	221
11.1.6 串行铁电 FRAM 的扩展	222
11.2 SPI 总线扩展接口及应用	223
11.2.1 SPI 的原理	223
11.2.2 SPI 总线的软件模拟及扩展技术	224
11.2.3 串行 D/A 转换器 TLC5615 的扩展	226
11.2.4 8 位串行 A/D 转换器 TLC549 的扩展	228
11.3 现场总线 CAN	230
11.3.1 CAN 总线特点	231
11.3.2 CAN 总线协议	232
11.3.3 CAN 总线接口	234
11.4 小结	237
思考题与习题 11	237
第 12 章 以 MCU 为核心的嵌入式系统的设计与调试	238
12.1 嵌入式系统开发与开发工具	238

12.1.1	MCU 为核心的嵌入式系统的构成	238
12.1.2	嵌入式应用系统的设计原则	239
12.1.3	嵌入式系统的开发工具	239
12.1.4	嵌入式系统的调试	240
* 12.2	嵌入式系统的抗干扰技术	241
12.2.1	软件抗干扰	242
12.2.2	硬件抗干扰	242
12.2.3	“看门狗”技术	243
12.3	单片机应用系统举例——电子显示屏	245
12.4	小结	249
	思考题与习题 12	249
第 13 章	实践训练	250
13.1	概述	250
13.2	可在线编程 (ISP) 多功能实验板	251
13.3	嵌入式开发涉及的软件介绍	255
13.3.1	综合测试程序的使用	255
13.3.2	运用在线编程软件 Atmel ISP 实现在线编程	256
13.3.3	单片机仿真调试集成软件包——WAVE 的使用	258
13.3.4	单片机仿真调试集成软件包 KEIL μ Vision2 介绍	262
13.4	实验指导	265
实验 1	程序设计和仿真调试技术	265
实验 2	并行接口输入、输出实验	267
实验 3	中断实验	271
实验 4	定时/计数器实验	274
实验 5	串行通信实验	279
实验 6	矩阵键盘和显示程序设计	282
* 实验 7	串行 E ² PROM 实验	284
* 实验 8	串行 D/A 实验	284
* 实验 9	串行 A/D 实验	286
* 实验 10	电子广告显示屏控制实验	290
* 实验 11	液晶显示器显示控制实验	295
13.5	项目设计(课程设计或毕业设计选题)	300
13.5.1	ISP 实验板的使用和进一步开发方法	300
13.5.2	课程设计报告要求	301
13.5.3	课程设计参考选题及提示	301
附录 A	MCS-51 指令表	306
附录 B	C51 的库函数	310
	思考题与习题解答	313
	参考文献	336

绪 论

1. 计算机的新分类

长期以来,计算机按照体系结构、运算速度、结构规模、适用领域不同,可分为大型计算机、中型机、小型机和微型计算机。随着计算机技术的迅速发展,计算机技术和产品对其他行业的广泛渗透,人们以应用为中心、按计算机的嵌入式应用和非嵌入式应用进行新的分类,将其分为嵌入式计算机和通用计算机。

通用计算机具有计算机的标准形态,通过装配不同的应用软件,以类同面目出现,并应用在社会各个方面,其典型产品为 PC;而嵌入式计算机则是以嵌入式系统的形式隐藏在各种装置、产品和系统中。

嵌入式计算机在应用数量上远远超过了各种通用计算机,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、网卡、Modem、声卡、打印机、扫描仪、数码相机、MP3、手机等均是由嵌入式处理器控制的。在制造工业、过程控制、通信、仪器、仪表、汽车、船舶、航空、航天、军事装备、家电产品等方面无不是嵌入式计算机的应用领域。

随着 EDA(电子设计自动化)的推广和 VLIS(超大规模集成电路)设计技术的日渐成熟,嵌入式片上系统 SOC(System On Chip)时代已经来临,各种通用的微处理器、微控制器内核作为标准库存储在器件库中,用户只需要用 VHDL 等语言定义整个应用系统,仿真通过后将设计图交给 IC 生产厂家生产,一个极为复杂系统集成在一个硅片上,这就是嵌入式片上系统。

2. 嵌入式系统

嵌入式系统是以应用为中心,以计算机技术为基础,针对具体应用系统需要,软硬件大小可配置,对功能、可靠性、成本、体积、功耗严格要求的专用计算机系统。

(1) 嵌入式系统的特征

①分散、创新、不可垄断性:从某种意义上来说,通用计算机行业的技术是垄断的。占整个计算机行业 90% 的 PC 产业,80% 采用 Intel 的 8X86 体系结构,芯片基本上出自 Intel、AMD 等几家公司。在几乎每台计算机必备的操作系统和文字处理器方面,Microsoft 公司的 Windows 及 Word 占 80%~90%。嵌入式系统则不同,它是一个分散的工业,充满了竞争、机遇与创新,没有哪一个系列的处理器和操作系统能够垄断全部市场。即便在体系结构上存在着主流,但各不相同的应用领域决定了不可能由少数公司、少数产品垄断全部市场。

②产品的稳定性:嵌入式处理器的发展具有稳定性。一个体系结构及其相关的外设、开发工具、库函数、嵌入式应用产品是一套复杂的知识系统,用户和半导体厂商都不会轻易地放弃某一种处理器。嵌入式系统产品一旦进入市场,就具有较长的生命周期,而且保持稳定。而通用计算机(如 PC)则更新很快,十几年时间,从 286 到 586、从奔腾 I 代到奔腾 IV 代、从单核到多核,淘汰很快。嵌入式系统新产品虽层出不穷,但同一系列的产品,其内核不变,指令系统是

兼容的,只是在片内配置不同种类和不同数量的功能部件以适用不同的需求,它强调软件可继承性和技术衔接性。其旧产品如单片 4 位机、8 位机、16 位机、32 位机并存于市场上,各有自己的应用领域,嵌入式系统产品追求高的性价比,设计师们绝不会杀鸡用牛刀。尽管 8051 单片机已问世 20 多年,至今依然是方兴未艾。

③嵌入式系统软件的特征:嵌入式系统软件所使用的语言可以是汇编语言,也可以是高级语言。软件一般固化在存储器芯片或单片机本身,而不是存储于磁盘等载体中。代码要求高质量、高可靠性、高实时性,并尽量减少占用的存储器。

④嵌入式系统开发需要开发工具和环境:通用计算机具有完善的人机接口界面,在上面增加一些开发应用程序和环境即可进行对自身的开发。而嵌入式系统本身不具备开发能力,系统设计完成以后,用户必须有一套开发工具和环境才能对系统进行调试、修改。这些工具和环境一般是指基于通用计算机上的软、硬件设备及各种仿真器、编程器、逻辑分析仪、示波器等。

(2) 嵌入式系统的核心部件

嵌入式系统是先进的计算机技术、半导体技术、电子技术与各个行业的具体应用相结合的产物,是一个技术密集、资金密集、高度分散、不断创新的知识集成系统。

嵌入式系统包括硬件和软件两个部分。硬件包括微处理器、存储器、外设、I/O 端口、图形控制器等。软件部分包括操作系统软件(OS,实时和多任务操作)和应用程序。应用程序控制着系统的运作和行为;而操作系统控制着应用程序编程与硬件的交互作用。

各种类型的通用 CPU、单片机(MCU)和数字信号处理器(DSP)、可编程逻辑控制器(PLC)、片上系统(SOC)、可编程逻辑器件(CPLD、FPGA)及专用处理器芯片等,均可构成嵌入式系统。其核心部件有以下 3 类:微处理器 MPU、微控制器 MCU 和数字信号处理器 DSP。

①嵌入式微处理器(Embedded MicroProcessor Unit, EMPU):功能同标准的 CPU,但在工作温度、电磁干扰、可靠性等方面做了各种增强,如 ARM。

ARM(Advanced RISC Machines)是一家生产微处理器的知名企业,ARM 公司开发了很多系列的 ARM 处理器核,授权给世界上许多著名的 IC 厂家生产,如 Atmel、Philips、Sharp 等,从而形成各具特色的 ARM 芯片。目前应用最广泛的系列是:ARM7、ARM9、ARM10、ARM11。ARM 处理器核加上 RAM、ROM、I/O 接口、定时/计数器等,就构成以 ARM 为核心的嵌入式系统。如 Atmel 公司 AT91 系列 ARM 芯片 AT91M40800,它基于 ARM7 TDMI 内核,内含高性能的 32 位 RISC 处理器、16 位高集成度指令集、8KB 片上 SRAM、可编程外部总线接口(EBI)、3 通道 16 位计数/定时器、32 个可编程 I/O 口、中断控制器、2 个 UART、可编程看门狗定时器、主时钟电路和 DRAM 时序控制电路,并配有高级节能电路;同时,可支持 JTAG 调试,主频可达到 40MHz。

ARM 体系结构支持 7 种处理器模式:用户模式、系统模式、快中断模式、中断模式、管理模式、中止模式、未定义模式。ARM 应用系统中大多数用 C 语言进行编程,但在运行应用代码之前需进行系统初始化,采用汇编程序编写启动代码。要进行初始化的有:系统时钟初始化、复位初始化、异常向量表定义、堆栈初始化、I/O 初始化、系统变量初始化、中断系统初始化、外围部件初始化、地址重映射等操作。

32 位 EMPU 的应用多集中在网络、通信和多媒体技术等高科技领域。

因为 ARM 要内嵌操作系统,学习操作系统难度大,结合操作系统编写程序对初学者更难,要想进入嵌入式的高端领域,建议还是从一种普通的单片机学习开始,逐步过渡到 ARM 及其他高端嵌入式。

②嵌入式微控制器(MicroController Unit, MCU, 又称单片机):单片机是以某一种微处理器为核心,将 ROM/EPROM、RAM、总线逻辑、定时/计数器、并行 I/O 口、串行口、看门狗、脉宽调制输出、A/D、D/A 等集成于芯片内的大规模集成电路芯片。由于它是计算机系统的单片化,体积大大减小,从而使功耗和成本下降,可靠性提高。

单片机的编程大多数情况无须嵌入式操作系统,仅是应用程序编制,编程可以用汇编语言或 C 语言,是中、低档嵌入式系统的主流,初学者学习嵌入式系统都从单片机入手。

③DSP 处理器(Digital Signal Processor, DSP):DSP 是和单片机一样的大规模集成电路芯片,内部也集成了 ROM、RAM、定时/计数器、并行 I/O 口、串行口、中断控制等。不过它对系统结构和指令进行了特殊设计,使其适合于执行数字信号处理的算法,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 的应用使通过单片机以普通指令实现数字信号处理功能过渡到采用专用的嵌入式 DSP 处理器阶段。

DSP 的编程同样可以用汇编语言或 C 语言,DSP 算法比较复杂,因此对数学要求比较高。

本课程以市场占有率最高的 51 系列单片机(或称 8051、51 系列、8XX51 单片机)为核心,介绍嵌入式系统的基础和设计方法。

(3)嵌入式操作系统(Embedded Operating System, EOS)

嵌入式操作系统 EOS 是一种用途广泛的系统软件,它负责嵌入式系统的全部软、硬件资源的分配、调度工作,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、软件固态化及应用的专用性等方面具有较为突出的特点。EOS 除具备一般操作系统最基本的功能,如任务调度、同步机制、中断处理、文件功能等外,还有以下特点:

- ① 体系结构具有可装卸性、开放性和可伸缩性;
- ② 强实时性,EOS 实时性一般较强,可用于各种设备控制当中;
- ③ 统一的接口,提供各种设备驱动接口;
- ④ 操作方便、简单,提供友好的图形界面;
- ⑤ 提供强大的网络功能,支持 TCP/UDP/IP/PPP 协议及统一的 MAC 访问层接口;
- ⑥ 强稳定性,弱交互性,嵌入式操作系统的用户接口一般不提供操作命令,它通过系统调用命令向用户程序提供服务;
- ⑦ 代码固化,嵌入式操作系统和应用软件被固化在嵌入式系统的 ROM 中,很少使用辅存;

⑧ 良好的移植性。

常见的嵌入式系统有:Linux、uClinux、WinCE、PalmOS、Symbian、eCos、uCOS-II、VxWorks、pSOS、Nucleus、ThreadX、Rtems、QNX、INTEGRITY、OSE、C Executive、RTX51(基于 51 单片机的多任务实时操作系统)。

3. 单片机

(1)什么是单片机

单片机全称单片微型计算机(Single Chip Microcomputer),又称 MCU(Micro Controller

Unit),是将计算机的基本部分微型化,使之集成在一块芯片上的微机。片内含有 CPU、ROM、RAM、并行 I/O、串行 I/O、定时/计数器、A/D、D/A、中断控制、系统时钟及系统总线等,它本身就是一个嵌入式系统,同时也是其他嵌入式系统的核心。

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,只是存储器、接口的配置及封装不同,这样可以使单片机最大限度地与应用需求相匹配,功能不多不少,从而减少功耗和成本。

(2)单片机的发展趋势

①单片机的字长由 4 位、8 位、16 位发展到 32 位。这几种字长的单片机目前同时存在于市场上。

②运行速度不断提高。单片机的使用最高频率由 6MHz、12MHz、24MHz、33MHz 发展到 40MHz。

③单片机内的存储器的发展体现在 3 个方面。

- 容量越来越大,由 1KB、2KB、4KB、8KB、16KB、32KB 发展到 64KB 乃至更多。
- ROM 存储器的编程(烧录)也越来越方便,有 ROM 型(掩膜型)、OTP 型(一次性编程)、EPROM(紫外线擦除编程)、E²PROM(电擦除编程)及 FLASH(闪速编程)等。
- 编程方式也越来越方便,目前有脱机编程、在系统编程(ISP)、在应用编程(IAP)。

以上各类产品并存,可供用户选择。

④I/O 端口多功能化。单片机除集成有并行接口、串行接口外,还集成有 A/D、D/A、LED/LCD 显示驱动、DMA 控制、PWM(脉宽调制输出)、PLC(锁相环控制)、PCA(逻辑阵列)、WDT(看门狗)等。

⑤功耗越来越低。采用 CHMOS 制作工艺,使单片机集 HMOS 的高速、高集成度和 CMOS 的低功耗技术为一体,使单片机的功耗进一步降低,适应的电压范围更宽(2.6~6V)。

⑥结合专用集成电路 ASIC、精简指令集 RISC 技术,使单片机发展成为嵌入式的处理器,深入到数字信号处理、图像处理、人工智能、机器人等领域。

以上单片机各种发展系列并非一代淘汰一代,均可供用户根据情况选择。

目前较有影响的单片机有:

- Intel:MCS-51、MCS-96 系列。
- Motorola:68HCXX 系列。
- Microchip:16C5X/6X/7X/8X 系列。
- Texas:MSP430FXX 系列。
- Atmel:AVR 单片机。
- Zilog:Z86EXXXPSC 系列。
- 诸多公司的 32 位 ARM 系列。

各类单片机的指令系统各不相同,功能各有所长,其中市场占有最高的是和 Intel 公司 MCS-51 兼容的 51 单片机。世界上很多知名的 IC 生产厂家都生产 51 单片机,如美国的 AMD 公司、Atmel 公司、Intel 公司、Winbond 公司、Philips 公司、ISSI 公司、Temic 公司及韩国的 LG 公司、日本 NEC 公司、Siemens 公司等。到目前为止, MCS-51 单片机已有数百个品种,仍还在不断推出功能更强的新产品。其他系列的单片机均未发展到如此规模。近年来, Philips 公司又推出了指令与 MCS-51 兼容的 16 位单片机,这样保证了 MCS-51 单片机的先进性,因此, MCS-51 单片机成为教学的首选机型。

(3) MCS-51 系列单片机类型

MCS-51 系列单片机品种很多,如果按照存储器配置状态,可划分为:片内 ROM 型,如 80(C)5X;片内 EPROM,如 87(C)5X;片内 FLASH E²PROM 型,如 89C5X;内部无 EPROM 型,如 80(C)3X。详见绪表 1。如果按照其功能,则可划分为以下类型。

①基本型:基本型为 8XX51,如 8031、8051、8751、89C51 等。其基本特性如下:具有适于控制的 8 位 CPU 和指令系统;128 字节的片内 RAM;21 个特殊功能寄存器;32 线并行口 I/O 口;2 个 16 位定时/计数器;一个全双工串行口;5 个中断源;4KB 片内 ROM;一个片内时钟振荡器和时钟电路;片外可扩展 64KB ROM 和 64KB RAM。由此可见,它本身就是一个功能强的小型嵌入式系统。

②增强型:增强型为 8XX52/54/58...,如 8032、8052、8752 等,此类型单片机的内部 ROM 和 RAM 容量比基本型的大 1 至数倍,同时把 16 位定时/计数器增为 3 个。8XX54 内部 ROM 增加到 16KB,8XX58 增加到 32KB。

③低功耗型:有 80C5X、87C5X、89C5X 等,这类型号带有“C”字的单片机采用 CHMOS 工艺,其特点是功耗低。另外,87C51 还有两级程序存储器保密系统,可防止非法复制程序。

④在系统可编程(ISP)型:Atmel 公司已经宣布停产 AT89C51、AT89C52 等 C 系列的 51 产品,转而全面生产 AT89S51、AT89S52 等 S 系列的产品。S 系列的产品最大的特点就是具有在系统可编程功能。用户只要连接好下载电路,就可以在不拔下 51 芯片的情况下,直接在系统进行编程。编程期间,系统是不能运行程序的。该系列产品还带有看门狗,除此以外,其他和 AT89C51、AT89C52 等 C 系列的 51 产品完全兼容。

⑤在应用可编程(IAP)型:在应用可编程 IAP 比在系统可编程 ISP 更进了一步。IAP 型的单片机允许应用程序在运行时可以通过自己的程序代码对自己进行编程,达到更新程序的目的。它通常在系统芯片中采用多个可编程的程序存储区来实现这一功能的。如 SST 公司的 ST89XXXX 系列产品等。

⑥JTAG 调试型:JTAG 技术是先进的调试和编程技术。它支持在系统、全速、非嵌入式调试和编程,不占用任何片内资源。目前具有 JTAG 调试功能的 51 单片机的种类很少,美国 Cygnal 公司(目前已被美国 Silicon Lab 公司收购)的 C8051FXXX 系列高性能单片机便是典型的一款。

还有很多单片机加强了内部接口,有带可编程计数阵列(PCA)型、A/D 转换型、带 DMA 型、多并行口型、内部有 SPI 总线、CAN 总线等。

绪表 1 中列出 Intel 公司、Philips 公司、Atmel 公司、SST 公司、Cygnal 公司等生产的几种型号的 51 单片机的性能资料,仅供参考。