



普通高等教育“十二五”规划教材

◎ 电子信息科学与工程类专业 规划教材

单片微型计算机 与接口技术

(第5版)

◎ 李群芳 肖 看 关 新 张士军 编著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

电子信息科学与工程类专业规划教材

单片微型计算机与接口技术

(第5版)

李群芳 肖 看 关 新 张士军 编著

電子工業出版社

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 单片机为主介绍嵌入式系统开发技术。主要包括: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,对新出现的器件和技术如 USB、I²C、SPI、CAN 串行总线、触摸屏、条形码等进行了论述。本教材安排了实验章节作为实训环节,并对仿真调试及设计软件 Proteus 进行了介绍,为其使用方便提供了电路图。本书集知识性、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、思考题与习题,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 / 李群芳等编著. — 5 版. — 北京: 电子工业出版社, 2015. 10

电子信息科学与工程类专业规划教材

ISBN 978-7-121-27375-9

I. ①单… II. ①李… III. ①单片微型计算机—基础理论—高等学校—教材②单片微型计算机—接口技术—高等学校—教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 240411 号

责任编辑: 凌 毅

印 刷: 三河市双峰印刷装订有限公司

装 订: 三河市双峰印刷装订有限公司

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: 20.75 字数: 558 千字

版 次: 2001 年 9 月第 1 版

2015 年 10 月第 5 版

印 次: 2015 年 10 月第 1 次印刷

印 数: 4000 册 定价: 39.80 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 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 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 单片机,与 51 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 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 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,而成为工科学子硬件设计基础课。本书以 51 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。该板兼实验台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. 实验指导中介绍了单片机开发软件的使用方法,重点介绍了 Proteus 和 Keil 仿真调试软件;电子课件中提供了 Proteus 的虚拟实验板电路图及各章例题的 Proteus 电路图,以方便教师上课时演示;还介绍了并口、串口和 USB 三种下载方法。

4. 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)、 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。

(3) 针对目前满街皆有条形码,人手一部智能机的形势,本书在人机接口部分增加了条形码和触摸屏的相关知识,同时对串行通信的 USB 接口进行了介绍;在存储器部分,增加了新近问世的相变存储器(PCRAM),以顺应科技的发展。由于这些内容涉及的学科比较广,限于篇幅,本书只能做一般介绍,如需设计使用,读者可查看详细资料,不影响单片机的基础教学。

(4) MCS-51 和 8051 所指的是同一类单片机,为了和各生产厂家的称呼及人们的习惯称呼相同,本书将前 4 版教材中的 MCS-51 均改称为 8051,或简称 51 单片机。

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。本书自 2001 年出版以来,随着单片机技术的发展,不断改版,其教材结构、知识点的安排,被后面很多新编的单片机教材借鉴,全国有数十所院校采用本书作为教材,并获得“全国电子信息类优秀教材二等奖”,感谢老师们的支持和厚爱。

本次 5 版保留了新型调试手段 Proteus,为照顾某些学校的条件和习惯,第 3 版的功能实验板及实验部分仍及并行口烧录方法保留在华信教育资源网(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。

本书由李群芳担任主编,肖看博士、关新副教授、张士军教授、黄建博士、郭蔚工程师、丁国荣工程师等参与编写了其中某些章节和思考题与习题解答工作,黄伯铭、裴培做了实验验证工作,姚方、姚园等人完成了书中部分例题和习题的文字编写及电路绘制等工作。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,教材不尽如人意之处,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 E-mail:call_lqf@163.com。

编 者
2015 年 8 月

目 录

绪论	1	1.5.2 不可总线扩展的单片机引脚.....	23
* 第 0 章 计算机的基础知识	6	1.6 小结	24
0.1 微型计算机的基本结构和工作原理	6	思考题与习题 1	25
0.1.1 微型计算机的系统结构	6	第 2 章 51 单片机的指令系统	26
0.1.2 微型计算机的基本工作原理	7	2.1 寻址方式	27
0.1.3 微型计算机的主要技术指标	7	2.1.1 立即寻址	27
0.2 计算机中的数制与码制	8	2.1.2 直接寻址	27
0.2.1 计算机中的数	8	2.1.3 寄存器寻址	27
0.2.2 计算机中的有符号数的表示	9	2.1.4 寄存器间接寻址	28
0.2.3 进位和溢出	11	2.1.5 变址寻址	28
0.2.4 BCD 码	11	2.1.6 相对寻址	29
0.2.5 BCD 码的运算	12	2.1.7 位寻址	29
0.2.6 ASCII 码	13	2.2 数据传送与交换指令	29
0.3 小结	13	2.2.1 传送类指令	29
思考题与习题 0	13	2.2.2 交换指令	32
第 1 章 51 单片机结构	14	2.3 算术运算和逻辑运算指令	32
1.1 51 单片机内部结构	14	2.3.1 算术运算和逻辑运算指令对	
1.1.1 概述	14	标志位的影响	33
1.1.2 CPU	14	2.3.2 以 A 为目的操作数的算术	
1.2 存储器	15	运算和逻辑运算指令	33
1.2.1 程序存储器	16	2.3.3 以 dir 为目的操作数的逻辑	
1.2.2 外部数据存储器	17	运算指令	34
1.2.3 内部数据存储器	17	2.3.4 加 1、减 1 指令	34
1.3 特殊功能寄存器	18	2.3.5 十进制调整指令	34
1.4 时钟电路与复位电路	20	2.3.6 专对 A 的指令	35
1.4.1 时钟电路	20	2.3.7 乘、除法指令	35
1.4.2 单片机的时序单位	21	2.3.8 指令综合应用举例	35
1.4.3 复位电路	21	2.4 控制转移指令	36
1.5 引脚功能	22	2.4.1 调用程序和返回类指令	37
1.5.1 可总线扩展的单片机引脚	22	2.4.2 转移指令	37

* 作为任选教学内容。

2.4.3 空操作指令	40	4.7.1 函数的分类	69
2.4.4 指令应用举例	40	4.7.2 函数的定义	69
2.5 位操作指令	41	4.7.3 函数的调用	70
2.6 小结	42	4.7.4 对被调函数的说明	70
思考题与习题 2	42	4.8 C 语言编程实例	71
第 3 章 51 单片机汇编语言程序设计	45	4.8.1 C 语言程序的反汇编 程序(源代码)	71
3.1 概述	45	4.8.2 顺序程序的设计	72
3.2 伪指令	46	4.8.3 循环程序的设计	73
3.3 顺序程序设计	47	4.8.4 分支程序的设计	74
3.4 分支程序设计	49	4.9 汇编语言和 C 语言的混合编程	76
3.5 循环程序设计	52	4.9.1 C 语言程序和汇编语言程序 参数的传递	76
3.6 位操作程序设计	56	4.9.2 C 语言程序调用汇编语言程序 举例	77
3.7 子程序	57	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	79
3.8 小结	59	4.10 小结	83
思考题与习题 3	59	思考题与习题 4	84
* 第 4 章 单片机的 C 语言编程 ——C51	61	第 5 章 输入、输出接口 $P_0 \sim P_3$	85
4.1 C51 程序结构	61	5.1 $P_0 \sim P_3$ 并行接口的功能和内部结构	86
4.2 C51 的数据类型	62	5.1.1 端口功能	86
4.3 数据的存储器类型和存储器模式	63	5.1.2 端口的内部结构	86
4.3.1 数据的存储器类型	63	5.2 编程举例	88
4.3.2 存储器模式	64	5.3 用并行口设计 LED 数码显示器 和键盘电路	91
4.3.3 变量说明举例	64	5.3.1 用并行口设计 LED 显示电路	91
4.4 指针	64	5.3.2 用并行口设计键盘电路	94
4.4.1 指针和指针变量	64	5.4 小结	97
4.4.2 指针变量的数据类型和 存储类型	65	思考题与习题 5	98
4.4.3 指针变量的说明	65	第 6 章 51 单片机的中断系统	99
4.4.4 指向数组的指针变量	66	6.1 8XX51 中断系统结构	99
4.5 C51 对 SFR、可寻址位、存储器和 I/O 口的定义	67	6.1.1 中断源	100
4.5.1 特殊功能寄存器 SFR 定义	67	6.1.2 中断控制的有关寄存器	100
4.5.2 对位变量的定义	67	6.2 中断响应过程	102
4.5.3 C51 对存储器和外接 I/O 口的 绝对地址访问	68	6.2.1 中断处理过程	102
4.6 C51 的运算符	68		
4.7 函数	69		

6.2.2 中断请求的撤除	103	8.3 串行口的控制寄存器	128
6.3 中断的程序设计	103	8.3.1 串行口的控制寄存器 SCON ...	128
6.3.1 汇编语言中断程序的设计	103	8.3.2 电源控制寄存器 PCON	129
6.3.2 C51 中断程序的设计	105	8.4 串行口的工作方式	130
6.4 外部设备中断的接入	107	8.5 串行口的应用编程	130
6.5 小结	108	8.5.1 查询方式	131
思考题与习题 6	108	8.5.2 中断法	131
第 7 章 单片机的定时/计数器	109	8.5.3 串行通信编程实例	132
7.1 定时/计数器的结构和工作原理	109	8.6 利用串行口方式 0 扩展 I/O 口	137
7.2 定时/计数器的寄存器	110	* 8.7 单片机和 PC 的串行通信	138
7.2.1 定时/计数器方式寄存器		* 8.8 USB 接口	143
TMOD	110	8.8.1 USB 协议简介	144
7.2.2 定时/计数器控制寄存器		8.8.2 USB 协议的实现	145
TCON	111	8.8.3 用 USB 连接 PC 和单片机	145
7.3 定时/计数器的工作方式	111	8.9 小结	146
7.4 定时/计数器的应用程序设计	112	思考题与习题 8	147
7.4.1 定时/计数器的计数初值 C 的		第 9 章 单片机总线与系统扩展	148
计算和装入	112	9.1 单片机系统总线和系统扩展方法	148
7.4.2 定时/计数器的初始化编程	113	9.1.1 单片机系统总线信号	148
7.4.3 应用编程举例	113	9.1.2 外围芯片的引脚规律	148
7.4.4 门控位的应用	117	9.1.3 系统扩展的方法	150
7.5 小结	119	9.1.4 地址译码器	151
思考题与习题 7	120	9.2 存储器的扩展	153
第 8 章 单片机的串行接口	121	9.2.1 存储器的基本知识	153
8.1 概述	121	9.2.2 程序存储器的扩展	155
8.1.1 同步和异步方式	121	9.3 数据存储器的扩展	158
8.1.2 通信方向	122	* 9.4 同时扩展 SRAM 和大于	
8.1.3 串行通信接口的任务	122	64KB Flash 的例子	160
8.1.4 串行通信接口	123	9.5 并行 I/O 接口的扩展	162
8.1.5 波特率和发送接收时钟	123	9.5.1 通用锁存器、缓冲器的扩展	162
8.1.6 通信线的连接	124	9.5.2 可编程并行接口芯片的扩展 ...	163
8.1.7 关于 RS-232	124	9.6 存储器和 I/O 口综合扩展电路	167
8.1.8 单片机串行通信电路	126	* 9.7 扩展多功能接口芯片 8155	168
8.2 单片机串行口的结构与工作原理	127	9.8 小结	172
8.2.1 串行口结构	127	思考题与习题 9	173
8.2.2 工作原理	127	第 10 章 单片机应用接口技术	174
8.2.3 波特率的设定	128	10.1 并行 D/A 接口技术	174

10.1.1	D/A 概述	174	11.1.3	串行 I ² C E ² PROM AT24CXX	203
10.1.2	DAC0832 的扩展接口	175	11.1.4	I ² C 总线的编程实现	207
* 10.1.3	DAC1210 的扩展接口	177	11.1.5	串行 E ² PROM 和 8XX51	210
10.2	A/D 接口技术	178	11.1.6	串行铁电 FRAM 的扩展	211
10.2.1	A/D 概述	178	11.2	SPI 总线扩展接口及应用	212
10.2.2	ADC0809 的扩展接口	179	11.2.1	SPI 的原理	212
* 10.2.3	AD574 的扩展接口	181	11.2.2	SPI 总线的软件模拟及	213
* 10.3	V/F (电压/频率)转换接口	184	11.2.3	串行 D/A 转换器 TLC5615	215
* 10.4	F/V (频率/电压)转换接口	185	11.2.4	8 位串行 A/D 转换器 TLC549	217
10.5	人机接口技术	186	11.3	现场总线 CAN	219
10.5.1	键盘接口扩展	186	11.3.1	CAN 总线特点	219
10.5.2	LED 显示器扩展	187	11.3.2	CAN 总线协议	220
* 10.5.3	用 8279 扩展键盘与 LED	188	11.3.3	CAN 总线接口	223
10.5.4	LCD 显示器扩展	188	11.4	小结	225
10.6	隔离与驱动接口	192	思考题与习题 11	226	
* 10.7	触摸屏	194	第 12 章	以 MCU 为核心的嵌入式系统的设计与调试	227
10.7.1	电阻式触摸屏的工作原理	194	12.1	嵌入式系统开发与开发工具	227
10.7.2	电容式触摸屏的工作原理	195	12.1.1	MCU 为核心的嵌入式系统的	227
10.7.3	红外线式触摸屏的工作原理	196	12.1.2	嵌入式应用系统的设计	228
10.7.4	表面声波触摸屏的工作	196	12.1.3	嵌入式系统的开发工具	228
10.7.5	电阻式触摸屏与单片机的	197	12.1.4	嵌入式系统的调试	229
* 10.8	条形码	197	* 12.2	嵌入式系统的抗干扰技术	230
10.8.1	条形码的类型	197	12.2.1	软件抗干扰	230
10.8.2	条形码的格式	198	12.2.2	硬件抗干扰	231
10.8.3	条形码的生成	199	12.2.3	“看门狗”技术	232
10.8.4	条形码的识别	199	12.3	单片机应用系统举例——电子	234
10.8.5	条形码示例	199	12.4	小结	237
10.9	小结	201	思考题与习题 12	237	
思考题与习题 10		201			
* 第 11 章	串行总线技术	202			
11.1	I ² C 总线扩展技术	202			
11.1.1	I ² C 总线简介	202			
11.1.2	I ² C 总线的通信规程	203			

第 13 章 实践训练	238	实验 3 中断实验	263
13.1 概述	238	实验 4 定时/计数器实验	266
13.2 可在线编程(ISP)多功能实验板	238	实验 5 串行通信实验	270
13.3 仿真调试技术	241	实验 6 矩阵键盘和显示程序设计	274
13.3.1 Proteus 概述	241	* 实验 7 串行 E ² PROM 实验	276
13.3.2 Proteus 中 51 单片机应用 系统的开发	243	* 实验 8 串行 D/A 实验	277
13.3.3 单片机仿真调试集成软件包 Keil μ Vision2 介绍	247	* 实验 9 串行 A/D 实验	279
13.3.4 Keil 和 Proteus 的联合使用 仿真 C51 程序	251	* 实验 10 电子广告显示屏控制实验 ...	283
13.4 单片机编程(下载)方法	253	* 实验 11 液晶显示器显示控制实验	287
13.5 实验指导	257	13.6 课程设计选题	292
实验 1 程序设计	257	附录 A 51 单片机指令表	293
实验 2 并行接口输入、输出实验	260	附录 B C51 的库函数	297
		思考题与习题解答	300
		参考文献	322

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 VLSI(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软件方面,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 接口、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 Micro Processor 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。

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。

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。

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,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、低档嵌入式系统如家用电器、汽车等控制系统的主流,初学者学习嵌入式系统都从单片机入手。有了基础理论知识,掌握了基本方法,再学习 ARM 等其他高端嵌入式就是轻车熟路了。

③ 数字信号处理器 DSP(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数字信号处理

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 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、可伸缩性及良好的移植性;
 - 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;
- 常见的嵌入式系统有: Linux、 μ Clinux、WinCE、IOS、Andriod、Symbian、eCos、 μ COS-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

单片机全称为单片微型计算机(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 乃至更高。

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(掩模型)、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)。

④ I/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(1.8V~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,它们并存于市场,均可供用户根据需要选择。

目前较有影响的单片机有:多个厂家生产的 8051 单片机(简称 51 单片机);Atmel 公司的 AVR 单片机;Motorola 的 68HCXX 系列单片机;Microchip 的 16C5X/6X/7X/8X;TI 的 MSP430FXX;诸多公司的 32 位 ARM 系列,等等。以上各类单片机的指令系统各不相同,功能各有所长,虽然结构大同小异,但互不兼容。其中,市场占有率最高的是 8051 单片机。51 单片机最早是由 Intel 公司推出的,称为 MCS-51。后来 Intel 公司用出卖专利和技术转让方式给了世界很多知名的 IC 厂商,自己转而生产高档多核的微处理器。因此,目前世界上很多知名的 IC 厂家都生产 51 单片机,如:

Atmel:AT89LP213/216、ISP 型 AT89S51/53、USB 型 89C5130/5136、以 51 核心的 MP3、ADC、DAC 等其他芯片。

Cyress:51 内核集中于 USB 控制器接口上,如 CY7C64345XX、CY7C68XXX。

Maxim:采用加密技术、防篡改、增加网络功能的 51 单片机,如 DS87XX、DS5250 等。

NXP(前身为 Philips 公司):P87LPC760/779、P89LPC9101/14、P87C51RX 等。

Silicon:集成了 ADC、DAC、USB、温度传感器的 c8051 系列。

ADI:以 8051 内核的符合工业标准的 ADUc812/848 系列。

TI:MSC1200/1214,USB 的 TUSB3XXX/B6XXX。

Winbond(中国台湾华邦):W78XXX 等宽电压(2.4~1.8V)51 单片机。

南通国芯微电子公司:STC89CXX、STC15WXX 系列。

上海普芯达电子公司:CW89F、CW89FE 系列。

此外,还有日本的 NEC、日立,韩国的 LG 公司等。我国大规模集成电路的设计生产起步较晚,而 MCU 是所有智能仪器设备的核心,经过我国科技人员多年的不懈努力,我国已经有了自主设计生产大规模集成电路芯片的能力,生产了某些优于国外同类产品的单片机,且价格便宜。为尽快赶上世界水平,我们还要加倍努力。

目前 51 单片机已有数百个品种,并不断推出功能更全、更强的 51 产品,如能直接使用 USB 接口的 51 单片机,不少大规模集成芯片把 51 单片机作为核心集成于专用芯片内,还有指令与 51 单片机兼容的 16 位单片机……其他类型的单片机均未发展到如此规模,这些都保证了 51 单片机的先进性和广泛适用性。因此,51 单片机成为教学的首选机型。

(3) 51 单片机类型

51 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。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 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 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64KBROM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;增加了看门狗抗干扰及电源监控器等。

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。

⑥ JTAG 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CygnaI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、多UART(异步)串行口,增加了同步串行SPI、I²C、CAN、USB总线等。

本书学习基本型单片机,对于增加了I/O功能的增强型,无非是多增加了控制寄存器,读者查看资料即可掌握。

51系列单片机的品种繁多,下面仅介绍3种常用的单片机,其中STCXX为国产单片机。

型号	内部程序存储器	RAM	并口	串口	外部中断源	定时器	PMW,PCA,A/D,D/A	最大晶振频率	可编程
AT89S51/52/55	4K/8K/20KB	128/256/256B	32	1	2	2	无	33MHz	ISP
STC89C51~58	4K/8K/32KB	512/1280B	39	1	4	3	无	35MHz	ISP/IAP
SST89E54/58	20/36KB	256B	32	1	2	3	无	35MHz	ISP

以下几款增强的单片机,除了具有上面的基本功能部件外,还有一些增强部分。

AT83C5134/36:除P₀~P₃的32个I/O口外,新增P₄口两个I/O口;具备4种串行通信接口(URAT、I²C、SPI、USB);内部有4位LED驱动;P1口的8位若接键盘,每个均可内部产生中断;具有PMW、PCA、A/D、D/A。

STC15W4K32S4系列:有62~26个通用I/O口(封装不同,I/O口个数不同)、7个定时器、8通道10位高速ADC、6通道15位高精度PMW和2通道CCP(可实现8位D/A转换)、可ISP/IAP下载、支持RS-485下载、不需外加晶振和外部复位,还可对外输出时钟和低电平复位信号;4组UART、1组SPI、速度比普通8051高8~12倍、具有很强的加密技术。

※ 第 0 章 计算机的基础知识

教学要点

本章对于没有先学“微机原理”课程的学生为必须教学部分,对于已先学了“微机原理”课程的为任选教学部分。

本章教学要点为:①计算机的系统结构,计算机的基本数制,几种进制之间的转换,补码、原码、真值之间的转换;②计算机中的计算一律为二进制数运算,符号位也参与运算,运算中会产生进位和溢出,应明确概念,掌握判断方法;③常用的编码,如 BCD 码(含压缩的 BCD 码和非压缩的 BCD 码)及 ASCII 码,应记住常用的字符编码。

0.1 微型计算机的基本结构和工作原理

0.1.1 微型计算机的系统结构

众所周知,一台微型计算机系统由硬件(元件、器件和电路)和软件(程序)构成,系统结构如图 0-1 所示。

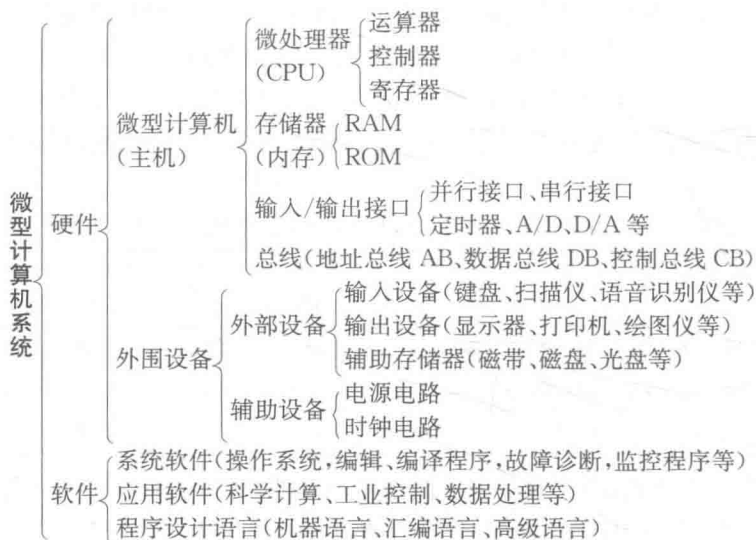


图 0-1 微型计算机的系统结构图

其中,CPU 是计算机的控制核心,其功能是执行指令,完成算术运算、逻辑运算,并对整机进行控制。存储器用于存储程序和数据,它由成千上万个存储单元组成,每个存储单元都有一个编号(称为地址),每个存储单元存放一个 8 位二进制数,这个二进制数可以是程序的代码,也可以是数据。当一个数据大于 8 位二进制数时,它将存放于多个存储单元中,因此,计算机中的数都是 8 的整数倍。外部设备即输入/输出设备,简称外设,是人与计算机交互的设备,完成计算机能识别的二进制数和人能识别的字符、图形、图像、语音之间信息的转换。它通过一些中间电路与 CPU 相连,CPU 和外设之间相连的逻辑电路称为输入/输出接口(又称 I/O 接口)。外设必须通

过接口才能和 CPU 相连。根据不同的外设,所用的接口不同,有并行接口、串行接口、定时器、A/D、D/A 等;每个 I/O 接口也有一个地址,CPU 通过对不同地址的 I/O 接口操作,完成对外设的操作。存储器、I/O 接口和 CPU 之间通过总线相连。图 0-2 为微型计算机的硬件结构图。

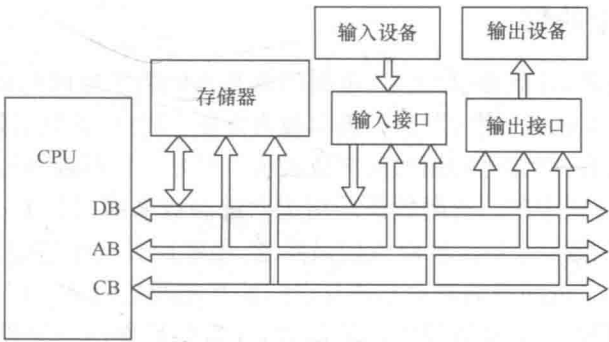


图 0-2 微型计算机的硬件结构图

用于传送程序或数据的线称为**数据总线(DB)**;用于传送地址以识别不同的存储单元或 I/O 接口的线称为**地址总线(AB)**;用于控制数据总线上数据流传送的方向、对象等的线称为**控制总线(CB)**,以上俗称**三总线**。在程序指令的控制下,存储器或 I/O 接口通过控制总线和地址总线的联合作用,分时地占用数据总线,与 CPU 交流信息。

0.1.2 微型计算机的基本工作原理

程序存放在存储器中,CPU 按照严格的时序关系不断地从存储器中取指令、译码、执行指令规定的操作,即按照指令的指示发出地址信号和控制信号,打开某些逻辑门或关闭某些逻辑门,使信号(数据或命令)通过数据总线在 CPU 和存储器及 I/O 口之间交流。这就是计算机的工作原理。简言之,存储程序、执行程序是微机的基本工作原理,取指、译码、执行是微机的基本工作过程。

单片机是微型计算机的一种,是将计算机主机(CPU、内存和 I/O 接口)集成在一小块硅片上的微机,又称**微控制器(MCU)**。它专为工业测量、控制而设计,具有三高优势(集成度高、可靠性高、性价比高),其特点是小而全(体积小、功能全),主要应用于工业检测与控制、计算机外设、智能仪器仪表、通信设备、家用电器等,特别适合于嵌入式微型计算机应用系统。

嵌入式工程师的任务就是根据应用对象的需求,完成硬件和软件的设计,即选择合适的单片机,进行接口、存储器等电路的系统设计,并设计程序,以控制应用系统按程序的指令完成规定的工作。

0.1.3 微型计算机的主要技术指标

(1) 字长

CPU 并行处理数据的位数,由此定为 8 位机、16 位机、32 位机等。

(2) 存储容量

存储器存储二进制数的位数,例如,256×8 位(也可称 256B) RAM、8K×8 位(8KB)ROM、1MB 等。

(3) 运算速度

即 CPU 处理速度,它和内部的工艺结构及外接的时钟频率有关。

(4) 时钟频率

在 CPU 极限频率以下,时钟频率越高,执行指令速度越快,对单片机而言,有 6MHz、12MHz、24MHz、40MHz 等。