

高 等 学 校 教 材

AT89C52单片机原理与接口技术

凌志浩 张建正 编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

高等学校教材

AT89C52 单片机原理 与接口技术

AT89C52 Danpianji Yuanli yu Jiekou Jishu

凌志浩 张建正 编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书以 AT89C52 单片机为主体,阐述了 MCS-51 系列单片机的基本结构、工作原理、指令系统、汇编语言程序设计、片内定时器/计数器和异步串行通信口的应用、存储器系统扩展原理、输入/输出方式和中断、并口/串口和模拟接口的扩展方法以及人机接口技术等内容,并结合应用系统的组成和应用实例讨论各种接口芯片的应用方法。在此基础上,本书结合单片机的发展趋势,介绍了 SPI、I²C 和 1-Wire 等串行数据总线接口及其应用示例。本书内容丰富、图文并茂、通俗易懂,每章均附有习题与思考题,可供读者课后练习。本书既可用作为教材,也适合读者自学。

本书可作为全日制高校、继续教育学院和网络学院的自动化、电子信息工程、测控技术与仪器、通信工程、机电一体化、计算机等专业的“单片机原理与接口技术”相关课程的教材,也可供从事单片机应用开发的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

AT89C52 单片机原理与接口技术/凌志浩,张建正编.
—北京:高等教育出版社,2011.3
ISBN 978-7-04-031931-6

I. ①A… II. ①凌…②张… 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-高等学校-教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 018111 号

策划编辑 韩颖 责任编辑 高云峰 封面设计 于文燕
版式设计 马敬茹 责任校对 杨雪莲 责任印制 张福涛

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京七色印务有限公司

网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开 本 787×1092 1/16
印 张 20
字 数 450 000

版 次 2011 年 3 月第 1 版
印 次 2011 年 3 月第 1 次印刷
定 价 31.30 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 31931-00

前 言

随着单片机和嵌入式系统的发展,其应用已深入到工业控制、仪器仪表、汽车电子、家用电器等众多领域,并促进了各个领域的技术进步和发展。为了适应高等工程教育和面向大众化教育的需要,编者在参阅大量国内外文献和同类书籍的基础上,博取众家之长,并结合多年来的教学经验和体会,精选了单片机原理与接口技术的基础知识,编写了这本《AT89C52 单片机原理与接口技术》教材。

本书的编写贯彻“软硬结合、面向应用”的方针,力求将单片机的硬件组成原理、软件设计方法以及接口技术的应用相结合。本书的内容安排体现了“从基本原理出发,注重指导实际应用”的原则,全书结构考虑了各章节的衔接性、系统性和完整性,选材注重先进性、代表性和实用性,并尽可能做到深入浅出、循序渐进,便于读者学习和理解。本书共分为 10 章,其中第 1 章至第 4 章是基础部分,不仅讲述了单片机发展、结构、特点、应用、嵌入式系统及其表现形式以及计算机运算基础等方面的内容,而且以 AT89C52 单片机为背景,重点介绍了 MCS-51 系列单片机的组成、特性、指令系统以及汇编语言程序设计方法等内容。第 5 章至第 10 章是接口技术和应用技术部分,着重介绍了输入/输出的概念和中断技术,AT89C52 单片机内部的定时器/计数器和串行通信口的工作原理和应用,以及系统扩展、并行接口和串行接口、数/模和模/数转换技术等接口技术及其应用方法,还包括人机接口技术及其设计方法的介绍。在此基础上,本书结合单片机的发展趋势,介绍了 SPI、I²C 和 1-Wire 等串行数据总线接口及其应用示例。

本书在内容的安排上兼顾工程教育需要,注意工程应用中的实际问题,强调技能训练和对实例的剖析和引导,书中列举的例题均以讲述解决问题的方法为出发点,以启发读者思路和创造力,体现其实用性和指导性。

本书由凌志浩、张建正编写,其中第 1、2、3、4 章由凌志浩编写,第 5、6、7、8、9、10 章由张建正编写。本书的编写得到了华东理工大学继续教育学院的资助,在此表示衷心感谢!同时,编者还要真诚感谢书末所列参考文献的所有作者。

本书由李刚和李全利两位教授审阅,他们给本书提出了许多宝贵的意见,在此表示深深的感谢!

本书可供全日制高校、继续教育学院和网络学院的自动化、电子信息工程、测控技术与仪器、通信工程、机电一体化、计算机等专业的“单片机原理与接口技术”课程的教材,也可供从事单片机应用开发的工程技术人员参考。

由于编者的水平和教学经验所限,书中难免会有错漏和不当之处,敬请读者批评指正。

编 者

2010 年 10 月于华东理工大学

目 录

第 1 章 绪论	1	2.4 AT89C52 单片机的时钟	
1.1 单片机概述	1	与复位电路	40
1.1.1 单片机的概念	1	2.4.1 复位操作和复位电路	40
1.1.2 单片机的发展过程	2	2.4.2 振荡电路和时钟	42
1.1.3 单片机的发展趋势	4	2.5 AT89C52 单片机的低功耗	
1.2 单片机特点和应用领域	5	耗工作方式	43
1.2.1 单片机的特点	5	2.6 AT89C52 单片机的时序	46
1.2.2 单片机的应用领域	6	2.6.1 CPU 的时序及有关概念	46
1.3 嵌入式系统	7	2.6.2 取指令和执行指令时序	47
1.3.1 嵌入式系统定义	7	2.6.3 访问外部 ROM 的操作时序	48
1.3.2 嵌入式系统组成和分类	7	2.6.4 访问外部 RAM 的操作时序	49
1.4 微型计算机的运算基础	8	习题与思考题	49
1.4.1 计算机中数的表示方法	8	第 3 章 指令系统	51
1.4.2 计算机中的编码	12	3.1 指令系统概述	51
1.4.3 计算机中的运算	13	3.1.1 指令格式	51
习题与思考题	23	3.1.2 指令符号约定	52
第 2 章 AT89C52 单片机的结构		3.1.3 指令系统的分类	53
与工作原理	24	3.2 寻址方式	53
2.1 AT89C52 单片机的主要特性		3.2.1 寄存器寻址	54
和内部总体结构	24	3.2.2 立即寻址	54
2.2 AT89C52 单片机的引脚功能	25	3.2.3 直接寻址	55
2.2.1 AT89C52 单片机引脚功能	26	3.2.4 寄存器间接寻址	55
2.2.2 三总线结构	28	3.2.5 基址加变址寄存器寻址	56
2.3 AT89C52 单片机的主要组		3.2.6 相对寻址	57
成部分	29	3.2.7 位寻址	57
2.3.1 AT89C52 单片机的 CPU	29	3.3 数据传送类指令	58
2.3.2 AT89C52 单片机的存储器	32	3.3.1 片内 RAM 和 SFR 数据	
2.3.3 AT89C52 单片机的 I/O 接口和		传送指令	58
相关的特殊功能寄存器	36	3.3.2 片外 RAM 及 I/O 接口	
2.3.4 并行 I/O 接口	36	数据传送指令	60
		3.3.3 查表指令	62

3.3.4 数据交换指令	63	第5章 输入/输出方式与中断	114
3.3.5 堆栈操作指令	64	5.1 输入/输出概述	114
3.4 算术运算类指令	65	5.1.1 I/O 接口结构和传送信息	114
3.4.1 加法运算指令	65	5.1.2 I/O 接口的基本功能	116
3.4.2 减法运算指令	67	5.1.3 I/O 接口的编址方式	116
3.4.3 乘、除运算指令	69	5.2 输入/输出数据的传 送方式	117
3.5 逻辑操作类指令	69	5.2.1 无条件传送方式	117
3.5.1 “与”运算指令	70	5.2.2 程序查询传送方式	118
3.5.2 “或”运算指令	70	5.2.3 中断传送方式	120
3.5.3 “异或”运算指令	71	5.2.4 DMA 传送方式	120
3.5.4 累加器 A 清 0 和取反指令	72	5.3 中断技术	121
3.5.5 循环移位指令	72	5.3.1 中断	121
3.6 控制转移类指令	73	5.3.2 中断源	122
3.6.1 无条件转移指令	73	5.3.3 中断系统的功能	122
3.6.2 条件转移指令	75	5.3.4 中断过程	123
3.6.3 子程序调用指令	77	5.4 AT89C52 单片机的 中断系统	125
3.6.4 返回指令	78	5.4.1 中断源	126
3.6.5 空操作指令	79	5.4.2 中断控制	128
3.7 位操作类指令	79	5.4.3 中断响应和处理过程	131
3.7.1 位传送指令	80	5.4.4 中断请求的撤除	132
3.7.2 位清 0 与位置 1 指令	80	5.5 中断程序设计	133
3.7.3 位逻辑运算指令	80	5.5.1 主程序	133
3.7.4 位条件转移指令	81	5.5.2 中断服务程序	134
习题与思考题	82	习题与思考题	137
第4章 汇编语言程序设计	85	第6章 AT89C52 单片机的 定时器/计数器	138
4.1 概述	85	6.1 定时器/计数器的结构	138
4.1.1 汇编语言与汇编	85	6.2 定时器/计数器 T0 和 T1 的控制	139
4.1.2 汇编语言程序设计步骤	87	6.2.1 工作方式寄存器 TMOD	139
4.1.3 伪指令	88	6.2.2 控制寄存器 TCON	140
4.2 汇编语言程序设计	91	6.3 定时器/计数器 T0 和 T1 的工作方式及应用	140
4.2.1 简单程序设计	91	6.3.1 方式 0 及应用	141
4.2.2 分支程序设计	92	6.3.2 方式 1 及应用	142
4.2.3 循环程序设计	95		
4.2.4 查表程序设计	99		
4.2.5 散转程序设计	102		
4.2.6 子程序设计	104		
4.2.7 运算程序设计	108		
习题与思考题	112		

6.3.3 方式2及应用	144	8.3 数据存储器扩展	199
6.3.4 方式3及应用	146	8.3.1 常用的RAM芯片	199
6.3.5 综合应用举例	147	8.3.2 RAM扩展电路	200
6.4 定时器/计数器T2	152	8.4 简单并行I/O接口的扩展	202
6.4.1 控制寄存器T2CON	152	8.4.1 用74HC244扩展并行输入口	202
6.4.2 工作方式寄存器T2MOD	154	8.4.2 用74HC377扩展并行输出口	202
6.4.3 T2工作方式及应用	154	8.5 可编程并行I/O接口	
习题与思考题	161	8255A的扩展	203
第7章 单片机的串行接口	162	8.5.1 8255A的结构	203
7.1 串行通信概述	162	8.5.2 8255A的工作方式	205
7.1.1 并行通信和串行通信	162	8.5.3 8255A的编程	209
7.1.2 串行通信的传输方式	162	8.5.4 8255A的接口技术	210
7.1.3 串行通信的通信方式	163	8.6 可编程RAM/IO接口	
7.2 AT89C52单片机的串行接口	165	8155的扩展	211
7.2.1 串行接口的结构	165	8.6.1 8155的结构	211
7.2.2 串行接口的控制	166	8.6.2 8155的RAM和I/O寄存器及操作	212
7.3 串行接口的工作方式	168	8.6.3 8155的工作方式和控制	212
7.3.1 方式0	168	8.6.4 8155的定时器	214
7.3.2 方式1	170	8.6.5 AT89C52单片机与8155的接口	214
7.3.3 方式2和方式3	171	8.7 D/A转换器接口	216
7.4 多机通信	173	8.7.1 D/A转换器概述	216
7.5 波特率设置	174	8.7.2 D/A转换器芯片DAC0832	217
7.5.1 方式0的波特率	174	8.7.3 D/A转换器与单片机接口时要考虑的问题	219
7.5.2 方式2的波特率	174	8.7.4 DAC0832与AT89C52单片机的接口	220
7.5.3 方式1和方式3的波特率	174	8.8 A/D转换器接口	222
7.6 串行接口的应用和编程	177	8.8.1 A/D转换器概述	222
7.6.1 双机串行通信的硬件连接	177	8.8.2 A/D转换器芯片ADC0809	223
7.6.2 串行通信的软件编程	178	8.8.3 A/D转换器与单片机接口时要考虑的问题	224
习题与思考题	188	8.8.4 ADC0809与AT89C52单片机的接口	225
第8章 单片机并行扩展技术	190	习题与思考题	226
8.1 单片机并行扩展性能	190	第9章 单片机串行扩展技术	228
8.1.1 并行扩展三总线	190	9.1 I ² C总线	228
8.1.2 地址分配	194		
8.2 程序存储器扩展	196		
8.2.1 常用的EPROM芯片	196		
8.2.2 EPROM扩展电路	198		

9.1.1	I ² C 总线概述	228	10.1.2	七段 LED 显示方式	262
9.1.2	I ² C 总线的信号时序	229	10.2	键盘接口	266
9.1.3	I ² C 总线数据传输协议	231	10.2.1	键盘结构	266
9.2	SPI 总线	233	10.2.2	行扫描法原理	268
9.2.1	SPI 总线概述	233	10.2.3	键盘/显示器接口技术	268
9.2.2	SPI 总线时序	234	10.2.4	键盘的工作方式	271
9.3	单总线	235	10.3	串行专用键盘/显示器接口芯片 HD7279A	272
9.3.1	DS18B20 概述	235	10.3.1	HD7279A 简介	272
9.3.2	DS18B20 与 AT89C52 单片机的接口电路	239	10.3.2	HD7279A 的控制	274
9.3.3	DS18B20 的工作过程和命令	239	10.3.3	HD7279A 的串行接口及时序	277
9.4	AT24C 系列串行 EEPROM 的扩展	241	10.3.4	AT89C52 单片机与 HD7279A 的接口和编程	278
9.4.1	AT24C 的结构	241	10.4	LCD 液晶显示器接口	282
9.4.2	AT24C 的读写操作	242	10.4.1	LCD 概述	282
9.4.3	AT89C52 单片机与 AT24C08 的接口和编程	244	10.4.2	LM3033B-0BR3 的结构	283
9.5	串行 D/A 转换器 TLC5615 的扩展	249	10.4.3	显示存储器	285
9.5.1	TLC5615 的结构	249	10.4.4	显示控制命令	286
9.5.2	TLC5615 的时序和工作方式	251	10.4.5	接口方式和时序	289
9.5.3	AT89C52 单片机与 TLC5615 的接口和编程	252	10.4.6	AT89C52 单片机与 LM3033B-0BR3 的接口和编程	290
9.6	串行 A/D 转换器 TLC2543 的扩展	253	10.5	打印机接口	293
9.6.1	TLC2543 的结构	253	10.5.1	TP μ P-40A/16A 微型打印机概述	294
9.6.2	TLC2543 的命令字	255	10.5.2	AT89C52 单片机与 TP μ P-40A/16A 的接口和编程	297
9.6.3	TLC2543 的 SPI 时序	256	习题与思考题	298	
9.6.4	AT89C52 单片机与 TLC2543 的接口和编程	257	附录 A	ASCII 码字符表	300
习题与思考题	258	附录 B	AT89C52 单片机指令详表	301	
第 10 章 单片机人机交互接口技术	260	附录 C	AT89C52 单片机指令一览表	307	
10.1	LED 显示器接口	260	参考文献	309	
10.1.1	LED 显示器的结构	260			

第 1 章 绪 论

1.1 单片机概述

单片微型计算机是微型计算机发展的一个分支,具有结构简单、控制功能强、抗干扰性和可靠性好、性价比高、便于实现嵌入式应用、易于产品化等特点,在机电一体化、通信产品、汽车电子、家用电器、智能仪器仪表、工业控制、专用控制装置等领域都得到了广泛应用,推动着各行各业的技术进步和产品更新,成为人们工作、生活不可或缺的重要工具和得力助手。

1.1.1 单片机的概念

单片微型计算机简称单片机,是由中央处理器(控制器、运算器)、存储器、定时器/计数器、并行 I/O 接口、串行 I/O 接口、中断系统等组成的一个大规模或超大规模的集成电路芯片,只要连接晶振、复位电路即可构成单片机最小应用系统。图 1-1 示意了单片机的基本组成框图。

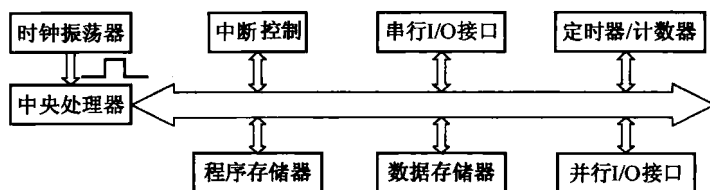


图 1-1 单片机基本组成

1. 中央处理器 CPU

中央处理器 CPU 主要由运算器和控制器组成。运算器的核心部件是算术/逻辑单元,主要完成算术运算和逻辑运算。控制器是计算机的控制核心,其功能是负责从程序存储器中取出指令进行分析、判断,并根据指令发出控制信号,使计算机有条不紊地协调工作。

2. 存储器

存储器是具有记忆功能的器件,分为程序存储器和数据存储器,主要功能是存放程序和数据。程序是用来指示计算机如何操作,而数据则是计算机操作的对象。

3. 并行 I/O 接口

并行 I/O 接口通常为独立的双向 I/O 接口,它是单片机的重要资源,可通过软件编程设定其

用作输入方式或输出方式。

4. 串行 I/O 接口

串行 I/O 接口用于单片机与串行设备或其他单片机系统的通信。串行通信有同步和异步之分,可用硬件或通用串行收发器件来实现。

5. 输入/输出设备

输入设备的作用是从外界将数据、指令等输入到微型计算机的内存;输出设备的作用是将微机处理后的结果信息转换为外界能够使用的数字、文字、图形、声音等。微机外部设备的种类和形式很多,常见的输入设备有键盘、鼠标、模/数转换器等,近年来语音、图像等输入设备也已正式进入实用阶段。常见的输出设备有打印机、绘图仪、数/模转换器、显示终端、音响设备等。另外,常见的软盘或硬盘驱动器、光盘驱动器也属于输入/输出设备。

6. 定时器/计数器

定时器/计数器用于单片机内部精确定时或对外部事件进行计数,有的单片机内部提供有多个定时器/计数器。

7. 时钟振荡器

外接的时钟振荡器为单片机提供系统时钟。

8. 中断系统

中断是指 CPU 暂停正在执行的程序转而处理中断源服务程序,在执行完中断服务程序之后再返回原来正在执行的程序断点处继续执行。一般单片机均会提供有若干个中断源,并具有不同的优先级别供用户选择。

9. 总线

总线是控制器、运算器、存储器、I/O 接口之间相连的一组线,分为数据总线、地址总线和控制总线。

(1) 数据总线(Data Bus):数据总线是双向的通信总线,通过它可以实现微处理器、存储器和输入/输出接口三者之间的数据交换。例如,它可以将微处理器输出的数据传送到存储器或输入/输出接口,又可以把从存储器中取出的信息或从外设接口取来的信息传送到微处理器内部去。

(2) 地址总线(Address Bus):地址总线是单向总线,用来从 CPU 单向地向存储器或 I/O 接口传送地址信息。

(3) 控制总线(Control Bus):控制总线传输的信号可以控制微型计算机各个部件有条不紊地动作,其中包括由微处理器向其他部件发出的读、写等控制信号,也包括由其他部件输入到微处理器中的信号。控制总线的多少因不同性能的微处理器而异。

1.1.2 单片机的发展过程

单片机技术的发展是与微电子技术和半导体技术的发展密切相关的,自 1974 年美国 Fairchild(仙童)公司推出第一款 8 位单片机 F8 以来,世界许多半导体公司都投入到单片机的研发

和应用推广上来,使单片机技术有了巨大发展,其发展历程具体可划分为如下几个阶段:

1. 单片机的初期阶段

这一时期的主要目的是探索单片形态的微机体系结构,以满足工业控制领域对嵌入式控制的基本需求。以1976年Intel公司推出的MCS-48系列单片机为先导,将单片机推向了市场,尽管MCS-48系列单片机的软硬件功能较弱,但还是以其嵌入式应用方面的优势,在工控等领域得到了应用,从而促进了单片机的应用和发展。

2. 单片机的完善阶段

这一阶段的代表产品是Intel公司推出的MCS-51系列。MCS-51系列是完全按照控制应用而设计的单片机,内部集成了8位CPU、128B的RAM、4KB的ROM、32条并行I/O总线、2个16位定时器/计数器、一个全双工的串行口,程序存储器和数据存储器的寻址范围均达到64KB。MCS-51系列单片机是面向控制功能、满足嵌入式应用的专用CPU,设置集中管理模式的特殊功能寄存器(SFR),外围功能单元由CPU集中管理。同时,它还体现出控制特性的位地址、位寻址、位操作控制功能。MCS-51指令系统逐渐趋于丰富和完善,并且增加了许多突出控制功能的指令。

MCS-51的软、硬件功能较以前的产品有了显著提高,形成了完善的通用总线型单片机体系结构,奠定了其在单片机领域的地位,成为事实上的单片机结构标准。至今,许多半导体厂家采用MCS-51的8051内核,通过增加其他功能电路,开发出众多颇具特色的80C51系列单片机,并在单片机市场上占有很大的市场份额。与此同时,Motorola公司的M68系列和Zilog公司的Z8系列也占据了一定的市场份额。

3. 向微控制器发展阶段

早期的单片机仅集成微机的基本功能部件,在设计测控系统时,需要根据测控对象的具体要求来增加对应的外围电路,系统总体结构仍然比较复杂。为了更好地满足测控系统的要求,进一步缩小体积,该阶段单片机发展的特点是在原有计算机体系结构的基础上,增加测控专用的外围电路,如RTC实时时钟、模/数转换器ADC、数/模转换器DAC、脉宽调制器PWM等以及SPI、I²C串行总线接口等,体现了单片机的微控制器特征。通过对单片机增加外围接口电路来强化其控制功能,在嵌入式应用中,一片单片机本身就能完成大多数测控任务,其结构组成和功能与微型计算机已有了很大不同,越来越多的人逐步采用微控制器作为单片机的标准名称。

这一时期的代表系列是80C51系列。此外,还有许多其他知名的单片机系列。

4. 单片机高速发展阶段

近年来,全球很多半导体公司相继开发出了各具特色的8位、16位、32位单片机产品。例如,Motorola公司的68HC05、68HC08、68HC16、683xx系列,Microchip公司的PIC系列,TI公司的MSP430系列,ATMEL公司的AVR系列和AT89系列,Philips公司的80C51系列等。不同公司和不同型号的单片机各具特点,能够满足用户不同领域高、中、低端的应用需求,用户可以根据设计需要选择合适型号的单片机。

由于单片机主要擅长于控制功能,高速数据运算处理能力只是小部分应用的需要,其发展过

程并不像微处理器新型号推出老型号迅速淘汰,而是一直保持 8 位、16 位、32 位单片机共存的发展格局。其中 8 位单片机占据着最大的市场份额,并继续在工业控制、智能产品中得到广泛应用,32 位单片机主要用在机器人、航空航天等高端应用中。

1.1.3 单片机的发展趋势

1. 提高 CPU 处理能力

进一步提高单片机 CPU 的性能,包括增加数据总线的宽度、采用精简指令集(RISC)体系结构和流水线技术等,大幅度提高其运行速度,并不断加强位处理、中断和定时控制功能。

2. 微型化

芯片集成度的提高为单片机的微型化提供了可能。早期单片机大量使用双列直插式封装,随着贴片工艺的出现,单片机也大量采用了各种符合贴片工艺的封装,从而大大减少了芯片的体积,方便了嵌入式系统的设计。

3. 低电压和低功耗

在许多应用场合,单片机不仅要有很小的体积,而且还需要较低的工作电压和极小的功耗。因此,很多单片机都提供了多种工作方式,包括等待、暂停、睡眠、空闲和节电等方式。如美国 Microchip 公司的 PIC16C5x 系列单片机正常工作电流为 2 mA,空闲方式(3 V 32 MHz)下为 15 μ A,等待工作状态(2.5 V 电源电压)下为 0.6 μ A,为采用干电池供电提供了现实可能性。

4. 集成更多资源

当前,在单片机内部已经集成了越来越多的部件,包括定时器/计数器、比较器、A/D 转换器、D/A 转换器、串行通信接口、脉宽调制器(PWM)、程序监视定时器(Watchdog)和液晶(LCD)驱动电路等一些常用功能电路。有的单片机为了构成控制网络,内部还提供有网络控制模块,甚至将网络协议也固化在其芯片内,支持单片机直接联网的趋势,以方便实际应用。

5. 引脚的多功能化

随着单片机芯片内部功能的增强和资源的丰富,单片机所需的引脚数也需要相应增加,而太多的引脚不仅会增加制造困难,而且也会使芯片的集成度大为降低,这就会出现不可避免的矛盾。为了有效解决这一矛盾、减少引脚数量,单片机中普遍采用一脚多用的设计方案。

6. 低噪声和高可靠性

为提高单片机的抗电磁干扰能力,使产品能适应恶劣的工作环境、满足电磁兼容性方面更高标准的要求,众多厂家在单片机内部电路中采用了新的技术措施。

7. 推行串行扩展总线

目前,外围器件接口技术的一个重要发展方向是串行接口的发展,随着外围电路串行接口的发展,单片机串行扩展接口(如移位寄存器接口、SPI、I²C、Microwire、1-Wire 等)设置越来越普遍化、高速化,采用串行接口方式越来越方便,从而大大减少引脚数量,简化系统结构。

8. Flash 型单片机成为主流

早期单片机内部程序存储器主要有掩膜 ROM、EPROM 和无 ROM 型。随着存储器技术的发

展, EPROM 等存储器逐步被淘汰, 一些新型高性能存储器开始用到单片机中。当前单片机中的程序存储器多采用 Flash Memory(闪存), Flash 存储器具有 1 000 次以上的擦写周期, 对程序的修改和升级非常方便。为了降低成本, 还有不少公司的单片机采用 OTP ROM 作为程序存储器。

9. ISP 及基于 ISP 的开发环境

Flash ROM 的发展推动着系统可编程 ISP(In System Programmable)技术的发展。在 ISP 技术基础上, 可实现目标程序的串行下载, 还可实现目标程序的远程调试和升级。利用 ISP 技术, 单片机的开发调试无需编程器、仿真器, 降低了开发成本, 提高了工作效率。目前, 已有不少单片机具有 ISP 功能。

1.2 单片机特点和应用领域

1.2.1 单片机的特点

基于单片机是集成在一块芯片上的、面向控制的微型计算机, 它与一般微型计算机相比, 在硬件结构和指令设置上均有独到之处。因此, 单片机具有以下特点:

1. 控制性能和可靠性高

单片机是为满足控制而设计的, 有面向控制的指令系统, 所以实时控制功能强。其 CPU 可以对 I/O 接口直接进行操作, 其中的位操作能力更是其他计算机无法比拟的, 具有很强的逻辑控制能力。另外, 单片机的各种功能部件都集成在一块芯片上, 特别是存储器也集成在芯片内部, 因此, 单片机中各部件间连接紧凑、布线短, 大都在芯片内部传送数据, 不易受外部环境条件影响, 增加了抗干扰能力, 使单片机系统的运行更加可靠。

2. 体积小、价格低、易于产品化

每个单片机芯片即是一台完整的微型计算机, 对于批量大的专用场合, 一方面可以在众多的单片机品种间进行匹配选择, 同时还可以专门进行芯片设计, 使芯片功能与应用具有良好的对应关系。在单片机产品的引脚封装方面, 有的单片机引脚已减少到 8 个或更少, 从而使应用系统的印刷板减小、接插件减少、安装简单方便。单片机的上述特点, 缩短了单片机应用系统从样机到产品的过渡过程, 使科研成果迅速转化为生产力。

3. 外部扩展能力强

当单片机内部的各种功能部分不能满足应用需求时, 均可在外部进行扩展, 如扩展存储器、I/O 接口、定时器/计数器、中断系统等, 可与许多通用的微机接口芯片兼容, 系统设计方便灵活。

4. 性能高、速度快

为了提高速度和执行效率, 单片机使用 RISC 体系结构、并行流水线操作和 DSP 等设计技术, 指令运行速度大幅提高。

5. 低功耗、低电压

新型单片机追求低电压、宽电压、低功耗,通过改进制作工艺,降低内部电压和功耗,提供宽电压使用方式,以支持不同场合的需要。

1.2.2 单片机的应用领域

单片机以其独特的卓越性能,得到了极其广泛的应用,已深入到各个应用领域,几乎无所不及。一般根据单片机的应用领域不同,可选择不同级别的产品。例如:民用级应用,其温度范围为 $0\sim 70^{\circ}\text{C}$;工业品级应用,其温度范围为 $-40\sim 85^{\circ}\text{C}$;军品级应用,其温度范围为 $-65\sim 125^{\circ}\text{C}$ 。由于单片机具有优越的控制性能、灵活的嵌入品质和良好的性能价格比,它可单独完成现代工业控制所要求的智能化控制,能够取代以前用复杂的电子线路或数字电路才能构成的控制装置。现在单片机的应用范畴非常广泛,例如通信产品、家用电器、智能仪器仪表、过程控制和专用控制装置等。

1. 智能仪器仪表

智能仪器仪表是单片机应用最多、最活跃的领域之一。在各类仪器仪表中引入单片机,可通过提供数据存储、数据处理、查找、判断、联网和语音等功能,使仪器仪表智能化,提高测试的自动化程度和精度,简化仪器仪表的硬件结构,提高其性价比。

2. 工业自动化

在工业过程控制、过程检测等工业自动化领域,单片机系统主要用来实现信号的检测、数据的采集以及应用对象的控制,保证系统工作在最佳状态,提高系统的工作效率和产品质量。另外,可根据应用规模和应用复杂程度的不同,组成以单片机为核心的单机或多机网络系统。

3. 机电一体化产品

机电一体化产品是集机械技术、自动化技术、微电子技术和计算机技术为一体,具有智能化特征的机电产品。单片机与传统的机械产品结合,使传统机械和产品结构简化、控制更加智能化,构成新一代的机电一体化产品,例如机器人、数控机床、自动包装机、传真机、复印机等。

4. 交通导航

在交通领域,单片机也有极其广泛的应用,例如车辆检测系统、车牌识别系统、自动驾驶系统、通信系统、航天测控系统、运行监视器(黑匣子)等,都有单片机的身影。

5. 医疗器械

现代新型的医疗器械中,也大量使用单片机,由于其自动化程度高、功能强、可对所采集的数据进行较为复杂的数据运算,使处理结果清晰、直观,为现代医务工作者高效、准确地诊断病症和治疗病人提供方便。

6. 家用电器

家用电器也是单片机厂家竞争非常激烈的应用领域。该领域的应用特点是量大面广,价格低廉,如电冰箱、洗衣机、空调器、电饭煲、电视机、智能玩具等。

1.3 嵌入式系统

1.3.1 嵌入式系统定义

嵌入式系统(Embedded System)是计算机的一种应用形式,通常指嵌入在其他设备中的微处理机系统。它所强调的要点是:计算机不是为了表现自己,而是辅助其所在的设备,使其功能更加智能化和网络化。因此,在嵌入式系统中,操作系统和应用软件通常被集成于计算机硬件系统之中,使系统的应用软件与硬件一体化。这样,嵌入式系统的硬件与软件需要高效率地协同设计,以做到量体裁衣、去除冗余,在同样的系统配置上实现更高的性能。

嵌入式系统是计算机技术、通信技术、半导体技术、微电子技术、语音图像数据传输技术,甚至传感器等先进技术和具体应用对象相结合后的更新换代产品。嵌入式系统不仅与一般的 PC 机上的应用系统不同,而且与针对不同的具体应用而设计的嵌入式系统之间差别也很大。嵌入式系统是以应用为中心、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、功耗严格要求的专用计算机系统。

1.3.2 嵌入式系统组成和分类

嵌入式系统是一种用于控制、监测或协助特定机器和设备正常运转的计算机。它是集软硬件于一体的可独立工作的“器件”,主要包括嵌入式微处理器、外围硬件设备、嵌入式操作系统以及应用软件等 4 个部分。其中,嵌入式处理器是嵌入式系统的核心部件。按照功能和用途可进一步细分为嵌入式微控制器(Embedded Microcontroller)、嵌入式微处理器(Embedded Microprocessor)和嵌入式数字信号处理器(Embedded Digital Signal Processor)等几种类型。

1. 嵌入式微处理器(EMPU):嵌入式处理器的基础是通用计算机中的 CPU。在应用中,将微处理器装配在专门设计的电路板上,并配上必不可少的 ROM、RAM、总线接口、各种外设等器件,仅保留与嵌入式应用有关的功能,以大幅度减小系统体积和功耗。

2. 嵌入式微控制器(EMCU):又称单片机,它将整个计算机系统集成到一块芯片中,一般以某一种微处理器内核为核心,并在芯片内部集成 ROM、EPROM、RAM、总线、总线逻辑、定时器/计数器、WatchDog、I/O 接口、串行接口、脉宽调制输出 PWM、A/D、D/A 等部件。微控制器是目前嵌入式系统工业的主流,微控制器的片上外设资源比较丰富,尤其适合于仪器仪表与控制方面的应用。

3. 嵌入式 DSP 处理器: DSP 处理器对系统结构和指令进行了专门设计,使其更适合于执行 DSP 算法,并使编译效率提高、指令执行速度加快。目前在数字滤波、FFT、频谱分析等领域正在大量引入嵌入式系统。DSP 应用正从在通用单片机以普通指令实现 DSP 功能过渡到采用嵌入式 DSP 处理器。

由此可知,嵌入式系统是整个应用系统或智能产品的核心部件,它直接影响整机的硬件和软件设计,它对应用系统或智能产品的功能、性能价格比以及研制周期等起着决定性作用。因此,在任何系统或产品设计任务确定之后,首先应对嵌入式系统进行选择。目前流行的微控制器(MCU)、微处理器(MPU)、数字信号处理器(DSP)、混合处理器和片上系统(SoC)等嵌入式系统均是系统或智能产品设计时可供选择来制作主机电路的核心部件。

1.4 微型计算机的运算基础

微型计算机中的运算分为两类:一类是算术运算,包括加、减、乘、除运算;另一类是逻辑运算,包括逻辑“与”、逻辑“或”、逻辑“非”和逻辑“异或”等。要进行运算,首先要在计算机中将数表示出来。

1.4.1 计算机中数的表示方法

计算机中的数据都是以二进制形式进行存储和运算的,微型计算机也不例外。在计算机中存储数据时,每类数据占据固定长度的二进制数位,而不管其实际长度。例如在8位微型计算机中,整数216存储为11011000B,整数56存储为00111000B。计算机中不仅要处理无符号数,还要处理带符号和带小数点的数。

1. 机器数与真值

为表示带符号数,通常规定数的最高位为符号位。符号位通常用“0”表示正,用“1”表示负。例如在8位微机中,+65表示为01000001B,-65表示为11000001B。这些连同符号位一起作为能被计算机识别的一个数称为机器数,而它所代表的真实值称为机器数的真值。

2. 带符号数的表示

计算机中为表示带符号数,用最高位表示符号(“0”表示正,“1”表示负),称为符号位,其余的位用来表示数值,称为数值位。对带符号数,常见的有原码、反码和补码3种表示方式。

(1) 原码

在表示带符号数时,正数的符号位为“0”,负数的符号位为“1”,数值位表示数的绝对值,这样就得到了数的原码表示形式。例如,在8位微机中

$$\begin{aligned} [+38]_{\text{原}} &= [+100110]_{\text{原}} = 00100110\text{B} \\ [-38]_{\text{原}} &= [-100110]_{\text{原}} = 10100110\text{B} \end{aligned}$$

对于字长为 n 位的机器数,当 $X \geq 0$ 时, X 可表示为 $+X_{n-2} \cdots X_1 X_0$;当 $X < 0$ 时, X 可表示为 $-X_{n-2} \cdots X_1 X_0$,则 X 的原码可定义为

$$[X]_{\text{原}} = \begin{cases} X & 0 \leq X \leq 2^{n-1} - 1 \\ 2^{n-1} - X & -(2^{n-1} - 1) \leq X \leq 0 \end{cases}$$

可见, n 位原码表示数的范围为 $-(2^{n-1} - 1) \sim +(2^{n-1} - 1)$ 。在8位微机中,原码可表示数

的范围为 -127 到 $+127$ 。

带符号数的原码表示法简单易懂,而且与真值转换方便。但是“0”的原码有 00000000B 和 10000000B 两种形式,即分为 $+0$ 和 -0 ,这在运算中非常不方便。原码在进行两个异号数相加或两个同符号数相减时,需做减法运算,由于微机中一般只有加法器而无减法器,所以,为了把减法运算转变为加法运算就引入了反码和补码。

(2) 反码

正数的反码表示与原码相同;负数的反码可将负数原码的符号位保持不变,数值位按位取反得到,或者将负数看作正数求原码,再将所有位按位取反得到。因此,在 n 位机器数的计算机中,数 X 的反码定义为

$$[X]_{\text{反}} = \begin{cases} X & 0 \leq X \leq 2^{n-1} - 1 \\ (2^n - 1) + X & -(2^{n-1} - 1) \leq X \leq 0 \end{cases}$$

n 位反码表示数的范围与原码相同,8 位二进制反码表示的范围仍是 -127 至 $+127$ 。0 的反码也有两种表示法, 00000000B 和 11111111B , 即分为 $+0$ 和 -0 。例如在 8 位微机中

$$\begin{array}{ll} [+11]_{\text{原}} = 00001011\text{B} & [+11]_{\text{反}} = 00001011\text{B} \\ [-22]_{\text{原}} = 10010110\text{B} & [-22]_{\text{反}} = 11101001\text{B} \\ [+127]_{\text{原}} = 01111111\text{B} & [+127]_{\text{反}} = 01111111\text{B} \\ [-127]_{\text{原}} = 11111111\text{B} & [-127]_{\text{反}} = 10000000\text{B} \end{array}$$

由反码求得原码,再由原码求得真值,即可得到反码的真值。例如,反码 11011001B 的符号位为 1,将数值位按位取反,得到原码 10100110B ,其真值为 -0100110B (即十进制数 -38)。

(3) 补码

正数的补码表示与原码相同;负数的补码等于其反码末位加 1,即 $[X]_{\text{补}} = [X]_{\text{反}} + 1$ 。例如

$$\begin{array}{lll} [+11]_{\text{原}} = 00001011\text{B} & [+11]_{\text{反}} = 00001011\text{B} & [+11]_{\text{补}} = 00001011\text{B} \\ [-11]_{\text{原}} = 10001011\text{B} & [-11]_{\text{反}} = 11110100\text{B} & [-11]_{\text{补}} = 11110101\text{B} \\ [-127]_{\text{原}} = 10000000\text{B} & [-127]_{\text{反}} = 10000001\text{B} & [-127]_{\text{补}} = 10000000\text{B} \end{array}$$

为了理解补码的含义,现以时钟对时为例加以说明。假设现在的标准时间是 4 点整,而一只时钟却指示 7 点整。为了校准时钟,可把时针从 7 倒拨 3 格,即 $7 - 3 = 4$,使时针指向 4 点整;也可以将时针顺拨 9 格,使时针指向 4 点整。在顺拨 9 格过程中,时针到达 12 点时就从 0 点重新开始,相当于丢失了一个数 12,即

$$7 + 9 = 7 + 5 + 4 = 12(\text{自动丢失}) + 4 = 4$$

这个自动丢失的数叫做“模(mod)”。时钟上的加法称为“模为 12 的加法”,可表示为

$$7 + 9 = 4(\text{mod } 12)$$

由于时钟上超过 12 点时就会自动丢失一个数 12,因此,可以将减法运算 $7 - 3$ 转化为加法运算,即先将模 12 与 (-3) 相加,然后再与被减数相加

$$7 - 3 = 7 + [12 + (-3)] = 7 + 9 = 12 + 4 = 4$$

由此可见,模为 12 时, $7 - 3$ 与 $7 + 9$ 等价,则顺拨时针 9 格与倒拨时针 3 格对 12 成补数关