



全国普通高校电气工程及其自动化专业规划教材

Microcontroller Principle and Interface Technology

单片机原理 及接口技术

段晨东◎主编 张文甲 李斌◎编著

Duan Chendong

Zhang Wenge

Li Bin



清华大学出版社

全国普通高校电气工程及其自动化专业规划教材

Microcontroller Principle and Interface Technology

单片机原理及接口技术

(第2版)

段晨东◎主编
Duan Chendong

张文革 李斌◎编著
Zhang Wenge Li Bin

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书系统地介绍了 MCS-51 系列单片机的原理及接口技术。全书共分为 10 章。第 1 章为单片机概述和相关的数学基础知识。第 2 章介绍了单片机的内部结构和工作原理。第 3 章采用以例程解释指令功能的方法,详细地介绍了指令系统及指令的用法。第 4~6 章分别介绍了单片机的中断系统、定时器/计数器和串行口的工作原理,通过应用案例系统地讨论了它们的使用方法。第 7~10 章为单片机的基本应用技术,包括汇编语言程序设计、存储器扩展、基于并行接口的 I/O 口扩展和串行总线接口的 I/O 口扩展等内容,系统地介绍了常见典型程序的设计方法,阐述了存储器、键盘、显示器、I/O 接口、D/A、A/D 等扩展技术。为了达到强化基础、突出应用、便于自学的目的,书中提供了大量的例程和应用实例,并对其进行了较细致的论述,在每章之后设计了针对性较强的习题。

本书可作为普通高等学校和高等职业学校的电气工程及其自动化、自动化和其他相关专业的教学参考书,也可作为单片机技术的培训教材和工程技术人员的参考书。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理及接口技术/段晨东主编.--2 版.--北京:清华大学出版社,2013

全国普通高校电气工程及其自动化专业规划教材

ISBN 978-7-302-32937-4

I. ①单… II. ①段… 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(2013)第 148150 号

责任编辑:郑寅堃 薛 阳

封面设计:李召霞

责任校对:时翠兰

责任印制:王静怡

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:21.75 字 数:531 千字

版 次:2008 年 7 月第 1 版 2013 年 9 月第 2 版 印 次:2013 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:39.00 元

单片机是单片微型计算机,它是针对控制与检测应用而设计的,也称为微控制器。它具有芯片体积小、集成度高、功能强、抗干扰能力强、性价比高等特点,被广泛地应用在工业自动化、仪器仪表、航空航天、消费电子、电力电子、汽车电子、计算机外设等领域。自 20 世纪 80 年代 MCS-51 系列单片机问世以来,经历了三十多年发展,在共享 Intel 公司 8051 内核技术的基础上,众多的半导体公司经过不断的技术更新,推出了庞大的系列兼容产品,使 MCS-51 系列单片机依然在各个应用领域扮演着重要的角色。

本书为普通高等学校和高等职业学校的电气工程及其自动化、自动化和其他相关专业编写,希望通过学习本书的内容,掌握 MCS-51 单片机的工作原理及其使用方法,掌握 MCS-51 单片机的硬件接口设计和汇编语言设计方法,了解单片机应用的方式和开发步骤。本书也可作为从事单片机技术开发的技术人员的参考书。

本书共分为 10 章,第 1 章为单片机概述和相关的数学基础知识。第 2 章介绍了单片机的内部结构和工作原理。第 3 章采用例程解释指令功能的方法,详细地介绍了指令系统及指令的用法。第 4~6 章分别介绍了单片机的中断系统、定时器/计数器和串行口的工作原理,通过应用案例系统地讨论了它们的使用方法。第 7~10 章为单片机的基本应用技术,包括汇编语言程序设计、存储器扩展、基于并行接口的 I/O 口扩展和串行总线接口的 I/O 扩展等内容,系统地介绍了常见典型程序的设计方法,阐述了存储器、键盘、显示器、I/O 接口、D/A、A/D 等扩展技术。为了兼顾强化应用和便于自学的目的,书中提供了大量的例程和应用实例,并对其进行了较细致的论述,在每章之后设计了针对性较强的习题。

本书在再版时,继承了第 1 版的特色,重视基础理论,强调应用能力的培养,通过例题和应用实例引导读者理解和掌握知识点,力求做到循序渐进、深入浅出、结合实际、面向应用。同时,对第 1 版的内容做了删减和补充:

(1) 因为 Intel 8279 在实际应用中使用较少,本书删除了键盘/显示器接口芯片 8279 的内容。

(2) C8051F 系列单片机是一款高档的、基于 8051 内核的单片机,其结构复杂,由于篇幅限制,不能清楚地阐述它的构成和原理,因此,删除了第 1 版的第 11 章关于 C8051F $\times\times\times$ 的内容。

(3) 针对目前串行总线接口技术的应用越来越广泛,重新编写了第 10 章,重点介绍了基于 8051 单片机接口模拟 I²C 和 SPI 总线的方法及其应用。并在第 3 章和第 9 章介绍了基于单片机接口模拟芯片时序的程序设计方法和应用例程。

(4) 对第 8 章和第 9 章的内容进行了调整,删除了第 8 章有关 EEPROM 芯片 28C64 的内容,充实了键盘处理程序的设计例程。

(5) 重新设计了课后复习思考题,以便读者自测和复习。

在吸收近年国内外同类教材优点的基础上,经过改版,本书具有以下几个方面的特点:

(1) 例程和应用实例丰富,采用流程框图、思路说明和源代码注释多种方式解释设计方法,复习思考题覆盖知识面广,便于读者自学。

(2) 指令系统功能用实例解释,把指令的功能和用法融合在例程中,便于正确地理解和使用指令。

(3) 针对中断系统、定时器、串行口、接口技术等应用性较强的内容,总结了应用程序设计的基本步骤和框架,设计了多种应用的实例程序,便于读者掌握和理解其应用的难点和实现方法。

本书适用课时为 32~72 学时,并在授课的同时安排适当学时的课程实验。

本书由长安大学电子与控制工程学院的段晨东教授主编,第 1~7 章、第 10 章由段晨东编写,第 9 章由长安大学电子与控制工程学院的张文革高级工程师编写,第 8 章及附录部分由长安大学电子与控制工程学院的李斌高级工程师编写,全书由段晨东统稿。在编写过程中研究生魏文同学参与了第 10 章的例程设计和调试工作。研究生魏文、王慧娟、谷文婷、高精隆、李常磊、高鹏同学参与了文稿的初查和程序的测试工作,并一起完成了课后复习思考题的解答工作。另外,他们采用 Proteus 对书中应用部分的例程进行了模拟调试和功能验证。在本书再版编写时,长安大学电子与控制工程学院的高云霞副教授、西安工程大学的于长丰副教授提出了宝贵的意见,在此表示诚挚的谢意。作者在书中采用了部分单片机网络论坛上的例程及实现方法,由于难以在参考文献中注明,在此对其作者表示敬意。

单片机技术具有不断发展、应用性强、涉及知识面广的特点,由于作者的理论水平、实践经验和从事研究领域的局限性,书中难免存在不足和错误之处,希望读者不吝赐教。

段晨东

cdduan@chd.edu.cn

2013 年 6 月

第 1 章 基础知识	1
1.1 计算机	1
1.2 单片机	2
1.2.1 单片机的概念及特点.....	2
1.2.2 单片机的发展.....	3
1.2.3 MCS-51 系列单片机及其兼容单片机	4
1.2.4 单片机的应用.....	5
1.3 计算机的数学基础	6
1.3.1 数制及转换.....	6
1.3.2 计算机中数的表示方法.....	9
1.3.3 编码	14
1.4 本章小结.....	16
1.5 复习思考题.....	17
第 2 章 MCS-51 单片机结构及原理	19
2.1 MCS-51 单片机的组成与结构	19
2.1.1 MCS-51 单片机的基本组成	19
2.1.2 MCS-51 单片机的引脚与功能	20
2.1.3 MCS-51 单片机的内部结构	22
2.2 MCS-51 单片机的存储器	25
2.2.1 程序存储器	25
2.2.2 片内数据存储器	27
2.2.3 特殊功能寄存器	30
2.2.4 位寻址空间	33
2.2.5 外部数据存储器	33
2.3 MCS-51 单片机的 I/O 口	34
2.3.1 I/O 口的结构	34
2.3.2 I/O 口的负载能力和接口要求	38
2.4 MCS-51 单片机的时钟电路与时序	39
2.4.1 MCS-51 单片机的时钟电路	39
2.4.2 MCS-51 单片机的时序	40
2.5 MCS-51 单片机的复位电路	43
2.5.1 单片机复位及复位状态	43
2.5.2 单片机的复位电路	44
2.6 本章小结.....	45

2.7	复习思考题	46
第3章	MCS-51 单片机的指令系统	50
3.1	指令格式	50
3.2	MCS-51 单片机的寻址方式	51
3.3	指令系统分析	54
3.3.1	指令的分类	54
3.3.2	数据传送指令	55
3.3.3	算术运算指令	69
3.3.4	逻辑运算指令	78
3.3.5	位操作指令	84
3.3.6	控制转移指令	87
3.4	本章小结	108
3.5	复习思考题	110
第4章	MCS-51 单片机中断系统	118
4.1	中断系统概述	118
4.2	MCS-51 单片机的中断系统	119
4.2.1	MCS-51 单片机的中断标志	120
4.2.2	MCS-51 单片机的中断控制	122
4.2.3	MCS-51 单片机的中断优先级	123
4.2.4	MCS-51 中断响应及处理过程	124
4.3	外部事件中断及应用	127
4.3.1	外部事件中断的响应时间	127
4.3.2	外部事件中断源的应用	128
4.3.3	外部事件中断源的扩展	136
4.4	本章小结	138
4.5	复习思考题	138
第5章	MCS-51 单片机定时器/计数器	144
5.1	概述	144
5.2	定时器/计数器的工作方式选择及控制	145
5.3	定时器/计数器的工作方式及工作原理	146
5.3.1	方式0	146
5.3.2	方式1	147
5.3.3	方式2	148
5.3.4	方式3	149
5.4	定时器/计数器的应用	150
5.4.1	定时器/计数器的初始化	150

5.4.2	定时器/计数器的应用	150
5.5	本章小结	164
5.6	复习思考题	164
第6章	MCS-51 单片机的串行口及应用	167
6.1	串行通信的基本概念	167
6.1.1	并行通信和串行通信	167
6.1.2	串行通信方式	167
6.1.3	数据通信的同步方式	168
6.2	MCS-51 单片机的串行口	169
6.2.1	MCS-51 单片机的串行口结构	169
6.2.2	串行口的控制	170
6.2.3	串行口的工作方式	171
6.3	串行口的应用	176
6.3.1	并行 I/O 口扩展	176
6.3.2	串行口的异步通信	178
6.3.3	多机通信	188
6.4	本章小结	194
6.5	复习思考题	194
第7章	汇编语言程序设计	197
7.1	伪指令	197
7.2	算术运算程序的设计	199
7.3	循环程序的设计	203
7.4	查表程序的设计	205
7.5	检索程序的设计	208
7.6	分支程序的设计	210
7.7	码制转换程序的设计	212
7.8	本章小结	215
7.9	复习思考题	215
第8章	单片机存储器的扩展	218
8.1	单片机系统的三总线的构造	218
8.2	半导体存储器	220
8.2.1	随机存取存储器	220
8.2.2	只读存储器	220
8.3	程序存储器扩展	221

8.3.1	27××系列芯片	221
8.3.2	外部程序存储器扩展原理及时序	224
8.3.3	EPROM 扩展电路	225
8.4	数据存储器扩展	231
8.4.1	常用静态数据存储器芯片	231
8.4.2	外部数据存储器的扩展方法及时序	233
8.4.3	静态 RAM 扩展电路	234
8.5	程序存储器和数据存储器同时扩展	238
8.6	本章小结	239
8.7	复习思考题	240
第9章	单片机 I/O 接口技术	241
9.1	I/O 接口的控制方式	241
9.2	简单芯片扩展 I/O 接口	243
9.2.1	输出接口的设计	243
9.2.2	输入接口的设计	244
9.2.3	多个芯片扩展 I/O 接口	246
9.3	可编程接口芯片的扩展	247
9.3.1	8255 可编程并行接口芯片及其使用	248
9.3.2	8155 可编程接口芯片及其使用	258
9.4	键盘及显示器接口设计	265
9.4.1	键盘接口设计	265
9.4.2	显示器接口设计	280
9.4.3	键盘和显示器共用的接口设计	289
9.5	A/D 和 D/A 转换接口技术	291
9.5.1	A/D 转换接口技术	291
9.5.2	D/A 转换接口技术	298
9.6	I/O 接口的综合扩展	305
9.7	本章小结	305
9.8	复习思考题	306
第10章	串行总线扩展技术	309
10.1	I ² C 总线扩展技术	309
10.1.1	I ² C 总线	309
10.1.2	A/D——MAX128	315
10.1.3	D/A——MAX5822	319
10.2	SPI 总线扩展技术	324

10.2.1	SPI 总线	324
10.2.2	A/D——TLC2543	326
10.2.3	D/A——TLC5615	330
10.3	本章小结	332
10.4	复习思考题	332
附录 A	334
参考资料	338

1.1 计算机

计算机由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备 5 个部分组成,如图 1.1 所示。

迄今为止,计算机的发展经历了电子管、晶体管、集成电路、大规模及超大规模集成电路等几个阶段。随着微电子技术的发展,运算器和控制器被集成到一块芯片上,形成了微处理器(Microprocessor),20 世纪 70 年代出现了以微处理器为核心的微型计算机(Microcomputer),它是大规模及超大规模集成电路的产物。目前,

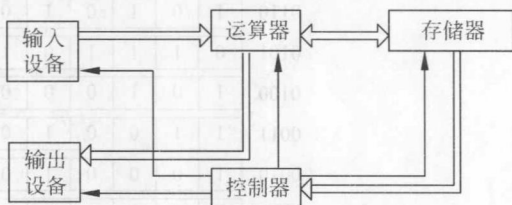


图 1.1 计算机的结构

计算机向巨型化、单片化、网络化三个方向发展。巨型化的目的在于不断提高计算机的运算速度和处理能力,以解决复杂系统计算和高速数据处理的问题,如系统仿真和模拟、实时运算和处理。单片化就是把计算机系统尽可能集成在一块半导体芯片上,其目的在于计算机微型化和提高系统的可靠性,通常把这种单片计算机简称为单片机。

计算机是如何工作的呢?计算机是机器,它不可能主动地、自觉地完成人们指定的某一项任务。当使用计算机解决某个具体问题时,并不是把问题直接交给计算机去处理,而是采用以下方法:首先,根据人们解决问题的方案,用计算机可以“理解”的语言,编写出一系列解决这个问题的步骤(即程序);然后,将这些步骤输入到计算机中,命令计算机按照这些事先拟定的步骤顺序执行,从而使问题得以解决。编写解决问题步骤的工作就是程序设计或软件开发。

计算机严格按照程序对各种数据或者输入信息进行自动加工处理,因此,必须先把程序和数据用“输入设备”(如键盘、鼠标、扫描仪、拾音器等)送入计算机内部的“存储器”中保存,待处理完毕,还要把结果通过“输出设备”(如显示器、打印机、绘图仪、音箱等)输送出来,以便人们识别。

在计算机中,“运算器”完成程序中规定的各种算术和逻辑运算操作。为了使计算机各部件有条不紊地工作,由“控制器”理解程序的意图,并指挥各个部件协调完成规定的任务。在微型计算机中,控制器和运算器被制作在一块集成电路上,称为中央处理器或中央处理单元(Central Processing Unit,CPU)。CPU 是计算机中最重要的部件,由它实现程序控制、操作控制、时序控制、数据加工、输入与输出控制、对异常情况和请求的处理等,它是计算机的大脑和心脏。

“存储器”是计算机中的记忆部件,用来存储人们编写的程序,存放程序所用的数据以及产生的中间结果。计算机之所以能够脱离人的干预而高速自动地工作,其中一个必要条件就是在计算机中有能够存放程序和数据的存储器。计算机的存储器通常为半导体存储器。半导体存储器内部含有很多个存储单元,每个单元可存放若干位二进制数。通常一个单元存放一个 8 位二进制数,即一个字节,每一位的状态是 0 或 1。为了区分不同的存储单元,

人们对计算机中的每个单元进行编号,通常赋予一个二进制编码,称为存储器的存储单元地址,简称为单元地址或地址,如图 1.2 所示。存储单元保存的 8 位二进制数称为单元的内容。为了便于描述,通常采用十六进制数来表示存储单元地址和内容。如图 1.2 中,地址为 0110 的存储单元的内容为二进制数 10101001,表示为(06H)=A9H。在计算机中,不论是数据还是程序,它们都是以二进制数的形式存储在存储器的单元中。

	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	位
0111	0	0	1	0	1	1	1	0	
0110	1	0	1	0	1	0	0	1	
0101	0	1	1	1	0	1	0	1	
0100	1	0	1	0	0	0	1	1	
0011	1	1	0	0	1	0	1	0	
0010	1	0	0	0	1	0	0	0	
0001	0	1	1	0	0	0	1	1	
0000	0	1	1	1	0	1	1	0	
地址	存储单元								

07H	2E
06H	A9
05H	75
04H	A3
03H	CA
02H	88
01H	63
00H	76
地址	存储单元

图 1.2 存储单元示意图

微型计算机的存储器有两种结构形式。一种是将程序存储器和数据存储器采取统一的地址编码结构,即传统微型计算机的存储器结构,称为冯·诺依曼结构或普林斯顿结构,如以 80x86CPU 为核心的微型计算机和 68HC11 单片机。另一种是将程序存储器与数据存储器分开的地址编码结构,称为哈佛结构,如: MCS-48 系列、MCS-51 系列、AVR 系列、PIC 系列单片机采用哈佛结构。

接通电源后,CPU 会自动地从存储器中取出要执行的程序代码,通过译码解析出代码所具有的功能,如果进行数据运算,则从存储器中提取运算所需要的数据,再进行运算操作,并把运算结果存储到程序指定的存储区域,结束本次操作;如果执行转移操作,则提取程序代码中的转移信息,计算出程序转移的目标地址,然后跳转。紧接着,CPU 再从存储器中提取下一次要执行的代码,不断地重复上述操作过程,直到 CPU 的电源断开。

1.2 单片机

1.2.1 单片机的概念及特点

单片机是将计算机的 CPU、存储器、输入/输出接口(Input/Output Port)、定时器/计数器(Timer/Counter)、中断(Interruption)系统等集成在一块芯片上,被称为单片微型计算机(Single Chip Microcomputer),简称单片机。单片机是针对控制与检测应用而设计的,又称微控制器(Microcontroller Unit,MCU)。另外,由于它可以很容易地被嵌入到各种仪器和现场控制设备中,因此也叫嵌入式微控制器(Embedded MCU,EMCU)。

单片机具有以下几个特点:

- (1) 集成度高、功能强。在一块芯片上集成了众多的资源,芯片体积小、功能强。
- (2) 具有较高的性能价格比。单片机尽可能地把应用所需的各种资源集成在一块芯片

内,性能高,但价格却相对较低廉。

(3) 抗干扰能力强。单片机是面向工业测控环境设计的,抗噪声干扰能力较强。程序固化在存储器中不易被破坏;许多资源集成于一个芯片中,可靠性高。

1.2.2 单片机的发展

自20世纪70年代初期单片机问世以来,它已经历了5个发展阶段:

第1阶段(1971—1976):单片机萌芽阶段。1971年,Intel公司推出了第一块单芯片的微处理器——4位微处理器Intel 4004,与其研发的随机存储器、只读存储器和移位寄存器等芯片,构成了第一台MCS-4微型计算机。随后Intel公司又研发了8位微处理器Intel 8008。在此期间Fairchild公司也推出了8位微处理器F8。1971年,Texas Instruments(TI)的两位工程师Gary Boone和Michael Cochran把CPU、随机存储器、只读存储器和时钟电路集成到一块芯片上,发明了第一款微控制器TMS 1000,并于1974年将其推向了市场,从此拉开了研制单片机的序幕。

第2阶段(1976—1980):初级单片机阶段。1976年,Intel公司推出了真正意义上的单片机MCS-48系列,把一个8位CPU、并行I/O口、定时器/计数器、存储器等集成到一块芯片上,代表芯片有8048、8035和8748。MCS-48系列以体积小、功能强、价格低等特点,被广泛用于计算机外设、工业控制和智能仪器仪表等领域,为单片机的发展奠定了基础。

第3阶段(1980—1983):高性能单片机阶段。这一阶段推出的高性能8位单片机,不仅存储容量和寻址范围大,而且普遍带有串行口、多级中断处理系统、多个16位定时器/计数器,有的单片机的片内还带有A/D转换接口。指令系统普遍增设了乘除法指令。在此期间,NEC发明了第一块DSP(Digital Signal Processor)单片机 μ PD7710,TI公司也推出了TMS32010。这个阶段的代表产品有Intel公司的MCS-51、Motorola公司的MC6801、Zilog公司的Z8、TI公司的TMS7000系列和NEC的 μ PD78xx等系列。

第4阶段(1983—1990):8位单片机巩固发展及16位单片机推出阶段。Intel公司在推出MCS-51系列之后,开放了8051单片机的技术,此后,Philips、Atmel、Siemens、Dallas、Analog Devices、OKI、Winbond等公司相继推出了与8051兼容的单片机。在同一时期,Motorola推出了68HC05、68HC08和68HC11系列单片机。

16位单片机工艺先进、集成度高、功能强,其代表产品有Intel公司的MCS-96系列、TI的TMS320系列、NEC的783xx系列、Motorola的68HC12、DSP56800和68HC16等系列。

第5阶段(1990—):单片机在集成度、功能、速度、可靠性等方面向更高水平发展。1993年,Microchip推出了PIC(Peripheral Interface Controller)单片机PIC16x84,首次用EEPROM代替了EPROM。同年,Atmel公司把Flash ROM技术与8051内核结合,推出了AT89系列单片机。这两种存储器的引入,诞生了在系统编程模式,加快了应用系统的开发速度。1997年,Atmel公司又研发了AVR系列的AT90XX高速8位增强型单片机,随后又推出了AVR的高档系列Atmega。与之前的8位微处理器相比,AVR微处理器具有高速运行的处理能力和功能精简的指令系统,克服了如8051采用单一累加器运算的瓶颈,支持在线编程(In Application Programming, IAP)和在系统编程(In System Programming, ISP)模式。

继 16 位单片机出现后不久,32 位单片机系列也相继面世。32 位单片机具有极高的集成度,内部采用 RISC(Reduced Instruction Set Computer)结构。在采用 CISC(Complex Instruction Set Computer)的微处理器和单片机中,指令系统中约有 20% 的指令会被反复使用,占整个程序代码的 80%,而其余 80% 的指令却不经常使用,仅占程序代码的 20%。RISC 结构优先选取使用频率最高的简单指令,避免复杂指令,将指令长度固定、指令格式和寻址方式种类减少,使指令系统进一步优化。代表产品有 Intel 的 MCS-80960、Motorola 的 M68300、Renesas 的 Super H、Freescale 的 S12、Maxim 的 MAXQ1103 等系列。

1990 年,ARM(Advanced RISC Machines)公司成立,ARM 公司既不生产芯片也不销售芯片,它只出售芯片的技术授权。1991 年,它推出了 AMR6 系列 32 位微处理器,随后 VLSI、SHARP、Cirrus Logical 等公司得到了授权,这些公司结合自己的优势推出了以 ARM 微处理器为核心的单片机。随后,ARM 陆续推出了 ARM7、ARM9、ARM9E、ARM10E、ARM11、SecurCore、Xscale、StrongARM 等,其中 ARM7、ARM9、ARM9E 和 ARM10 为 4 个通用处理器系列,每个系列提供一套相对独特的性能来满足不同应用领域的需求,而 SecurCore 系列主要面向较高要求的应用。到目前为止,ARM 的授权基本覆盖了世界上主要的微处理器和单片机芯片生产公司,这些公司通过授权共享 ARM 内核技术,研发了大量的满足不同需求的单片机,如 STMicroelectronics 的 STM32、Atmel 的 AT91SAM、NXP 的 LPC13xx、Samsung 的 S3C24xx、Silicon Labs 的 SiM3C1xx 等,应用于通信、汽车、航空航天、高级机器人、军事装备等领域。

自 1990 年至今,8 位单片机系列表现出多功能、多选择、高速度、低功耗、低价格、存储容量大和 I/O 功能加强及结构兼容的特点,在工业控制、智能仪表等应用领域,它们在性能和价格方面有较好的兼顾,仍然是主流产品之一。

1.2.3 MCS-51 系列单片机及其兼容单片机

20 世纪 80 年代初期,Intel 公司推出了 MCS-51 系列单片机,它包括 3 个基本型 8031,8051,8751,以及对应的低功耗型号 80C31、80C51、87C51,它们的区别仅在于程序存储器配置不同:8031 片内没有程序存储器,8051 片内程序存储器为 4KB 的只读存储器 ROM,8751 片内程序存储器为 4KB 的可编程、可改写的 EPROM。MCS-51 单片机片内数据存储器寻址范围为 256 个单元,前 128 个单元为内部 RAM,用来存放用户的随机数;后 128 个单元为特殊功能寄存器区,有 21 个特殊功能寄存器;有 4 个 8 位并行 I/O 口和 1 个全双工串行通信口;2 个 16 位的定时器/计数器;设置有 2 级中断优先级,可接受 5 个中断源的中断请求;具有较强的指令寻址和运算等功能,有 111 条指令,使用了 7 种寻址方式;设置了一个布尔处理器,有单独的位操作指令。8031、8751 与 8051 是 MCS-51 单片机的第一代产品。

Intel 公司在推出 MCS-51 单片机体系结构后不久,开放了 8051 内核技术,把 MCS-51 单片机迅速地推进到 8051 的 MCU 时代,形成了可满足嵌入式应用的单片机系列产品。另外,Flash ROM 的使用加速了单片机技术的发展,基于 Flash ROM 的 ISP/IAP 技术改变了单片机应用系统的结构模式以及开发和运行条件;Atmel 公司在 8051 内核基础上推出了采用 Flash ROM 技术的 AT89C 和 AT89S 系列单片机。另外,有的 8051 产品增加了一些外部接口,如 A/D、PWM、WDT(看门狗监视定时器)、高速 I/O 口、PCA(可编程计数器阵

列)、计数器的捕获/比较逻辑等,还为单片机配置了串行总线 SPI 或 I²C。第二代 8051 产品系列普遍采用了 CMOS 技术,被称为 80C51,与第一代相比集成度高、速度快、功耗低。

第三代 8051 产品的单片机内核 SoC(System On Chip,片上系统)化。单片机不断扩展外围功能、外围接口以及模拟数字混合电路,许多厂家以 80C51 为内核构成 SoC 单片机,ADI 公司推出了 AD μ C8xx 系列,Silicon Lab 则为 80C51 配置了全面的系统驱动控制、前向/后向通道接口,构成了通用的 SoC 单片机 C8051F。为了提升 80C51 的速度,Dallas 和 Philips 公司改变总线速度,将机器周期从 12 个时钟周期缩短到 4 个和 6 个。Silicon Lab 对指令运行实行流水作业,推出了 CIP-51 的 CPU 模式,指令以时钟周期为运行单位,每个时钟周期可执行 1 条单周期指令,与 8051 相比,在相同时钟下单周期指令运行速度为原来的 12 倍,使 80C51 兼容系列进入了 8 位高速单片机行列。第三代单片机还采用灵活的 I/O 口配置方法,Scenix 的 SX 单片机系列、STC 的 STC12C5A 等,将 I/O 的固定方式转变为软件设定方式。在 Cygnal 公司的 C8051F 中,则采用交叉开关以硬件方式实现了 I/O 端口的灵活配置。另外,第三代 8051 单片机普遍支持 ISP 编程,有的产品支持基于 JTAG 接口的在系统调试。

MCS-51 系列单片机经历了三十多年,现在仍然是单片机低端应用的主流产品,这得益于 8051 的技术开放。各家公司通过共享技术,依靠自身优势创造了众多的 80C51 兼容产品,如我国的宏晶科技(STC)开发了丰富的 80C51 内核系列产品以满足不同层次应用的需求。MCS-51 单片机从单片微型计算机到 MCU、再到片上系统(SoC)内核的发展过程,表现了嵌入式系统硬件体系的典型变化过程,它将会以 8051 内核的形式延续下去。

1.2.4 单片机的应用

现在,单片机被广泛地应用到各个领域,在消费电子、汽车电子、能源与节能、工业自动化、航空航天、计算机外设等领域扮演着越来越重要的角色,具有广阔的应用前景。下面介绍一些典型的应用领域及应用特点。

(1) 消费电子。目前与人们生活相关的电子产品中,单片机控制已经取代了传统的继电器、电子器件控制电路,家用电器(如全自动洗衣机、电冰箱、空调机、微波炉、电饭煲、烤箱等)、家庭娱乐(如电视机、录像机、及其他视频音像设备等)、移动电子(移动电话、MP3、MP4、笔记本电脑、计算器、游戏机、摄像机、照相机等)、家庭医疗保健(如便携式监护仪、电子血压计等)等普遍采用单片机。

(2) 办公自动化。现代办公室中所使用的大量通信、信息设备大多数都采用了单片机,如键盘、磁盘驱动器、打印机、绘图仪、复印机、电话、传真机、考勤机、计算器等。

(3) 汽车电子。据统计,一辆中档轿车上至少有 30 个单片机,它们协调完成车辆的安全、传动系统、车身/底盘电子系统、电池管理、门禁、音响、导航、控制器网络管理、空调、油耗等控制。

(4) 能源与节能。从发电机运行状态监测到电网电能控制,从发电厂、输变电站到用户,设备监控、继电保护、电能质量检测与计量等都是由以单片机为核心的现场控制器和智能终端来完成的。

(5) 工业自动化领域。在工业现场,智能仪器仪表、智能传感器、现场控制器、可编程控制器(Programmable Logic Controller,PLC)等,它们都是以单片机为核心的。另外,在分布

式控制系统和现场总线控制系统中,人机接口设备(Human Machine Interface, HMI)、现场数字和模拟 I/O 模块、现场总线通信模块、工业以太网接口、无线通信模块等也都是以单片机为核心的产品。

(6) 航空航天与军事领域。航空航天器的飞行姿态控制、参数显示、动力监测控制、通信系统、雷达系统、导航等以及军事领域武器系统的控制,如战机、舰船、坦克、火炮、导弹、智能武器系统等,都要用到单片机。

(7) 楼宇自动化。在楼宇自动化系统中,需要进行火灾自动检测与报警、照明控制、安全防范、建筑设备运行控制(空调、给排水设备、电梯等)、供配电等,与它们相关的设备分布在楼宇的不同区域,由不同的现场控制器分别进行实时检测和控制,另一方面,这些控制器也会把设备的状态信息通过通信网络汇总到楼宇自动化系统主机,这些现场控制器也是以单片机为核心的应用系统,同样,系统主机及其通信网络适配器也离不开单片机。

(8) 其他领域。在商业营销系统中广泛使用的电子秤、收款机、条形码阅读器、仓储安全监测系统、商场的导购电子显示系统、冷冻保鲜系统等中,也采用了单片机构成的专用系统。在医疗保健领域,医学成像设备、心电图仪、病人监护仪、脉搏血氧仪、病房呼叫系统等,单片机也扮演着不可或缺的角色。

单片机应用从根本上改变了传统的控制系统设计思想和方法。过去由硬件实现的控制功能,现在可以用软件方法实现,这种以软件取代硬件并能提高系统性能的控制技术,称为微控制技术。随着单片机应用领域的推广,微控制技术将发挥越来越重要的作用。另外,单片机是物联网的基础,物联网是以单片机为核心的产品网络化的一种形式,没有单片机的介入,就不会有物联网,单片机将在物联网发展中起着至关重要的作用。

1.3 计算机的数学基础

1.3.1 数制及转换

1. 数制

数制是人们利用符号来记数的方法,数制有很多种,人们常用的是十进制。由于数在机器中是以器件的物理状态来表示的,所以,一个具有两种稳定状态且能相互转换的器件就可以用来表示 1 位二进制数。二进制数的表示是最简单、最可靠的,另外,二进制的运算规则也是最简单的。因此,迄今为止,所有计算机都是以二进制形式存储数据、进行算术和逻辑运算的。但二进制使用起来既烦琐又容易出错,所以人们在编写程序时又经常用到十进制、十六进制或八进制。

任何一种数制都有两个要素:基数和权。基数为数制中所使用的数码的个数。当基数为 R 时,该数制可使用的数码为 $0 \sim R-1$ 。如二进制的基数为 2,可以使用 0 和 1 两个数码。

1) 十进制

十进制以 10 为基数,数符共有 10 个: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9。计数规则是逢十进一,借一当十。

$$N_D = d_{n-1} \times 10^{n-1} + d_{n-2} \times 10_{n-2} + \cdots + d_1 \times 10^1 + d_0 \times 10^0 + d_{-1} \times 10^{-1} + \cdots + d_{-m} \times 10^{-m}$$

$$= \sum_{i=-m}^{n-1} d_i \times 10^i$$

d_i 为第 i 位的系数,可取 $0 \sim 9$; 10^i 为第 i 位的权。显然,各位的权是 10 的幂。十进制数一般不用下标或尾注形式表示,有时也用字母 D 或 10 作为数的下标表示,也有用该数的尾部加字母 D 的表示方法,如 $423.567, (9728)_{10}, 6356D$ 。例:

$$1234.5 = 1 \times 10^3 + 2 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 4 \times 10^0 + 5 \times 10^{-1}$$

2) 二进制

二进制以 2 为基数,数符为: 0, 1。计数规则是逢二进一、借一当二。

$$N_B = d_{n-1} \times 2^{n-1} + d_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + d_1 \times 2^1 + d_0 \times 2^0 + d_{-1} \times 2^{-1} + \cdots + d_{-m} \times 2^{-m}$$

$$= \sum_{i=-m}^{n-1} d_i \times 2^i$$

d_i 为第 i 位的系数可取 0, 1; 2^i 为第 i 位的权。二进制数中,各位的权是 2 的幂。二进制数常用字母 B 或 2 作为数的下标表示,也可用该数的尾部加字母 B 来表示。例:

$$(1101.101)_2 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$$

3) 八进制

八进制以 8 为基数,数符有 8 个: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7。计数规则是逢八进一,借一当八。

$$N_8 = d_{n-1} \times 8^{n-1} + d_{n-2} \times 8^{n-2} + \cdots + d_1 \times 8^1 + d_0 \times 8^0 + d_{-1} \times 8^{-1} + \cdots + d_{-m} \times 8^{-m}$$

$$= \sum_{i=-m}^{n-1} d_i \times 8^i$$

d_i 为第 i 位的系数可取 $0 \sim 7$; 8^i 为第 i 位的权。八进制数各位的权是 8 的幂。八进制数常用字母 Q 或 8 作为数的下标表示,也可用该数的尾部加字母 Q 来表示。例:

$$(537)_8 = 5 \times 8^2 + 3 \times 8^1 + 7 \times 8^0$$

因为 $2^3 = 8$,八进制数有一个重要特点是每位八进制数可用 3 位二进制数表示。例如:

$$(6)_8 = (110)_2$$

4) 十六进制

十六进制以 16 为基数,数符有 16 个: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F。计数规则是逢十六进一,借一当十六。

$$N_H = d_{n-1} \times 16^{n-1} + d_{n-2} \times 16^{n-2} + \cdots + d_1 \times 16^1 + d_0 \times 16^0 + d_{-1} \times 16^{-1} + \cdots + d_{-m} \times 16^{-m}$$

$$= \sum_{i=-m}^{n-1} d_i \times 16^i$$

d_i 为第 i 位的系数可取 $0 \sim 9, A \sim F$; 16^i 为第 i 位的权。十六进制数各位的权是 16 的幂。十六进制数常用字母 H 或 16 作为数的下标表示,也可用该数的尾部加字母 H 来表示。例:

$$ED09.CH = 14 \times 16^3 + 13 \times 16^2 + 0 \times 16^1 + 9 \times 16^0 + 12 \times 16^{-1}$$

因为 $2^4 = 16$,每位十六进制数可用 4 位二进制数表示。例如: $(A)_{16} = (1010)_2$ 。

十进制数 $0 \sim 15$ 与不同进制数的对照表见表 1.1。