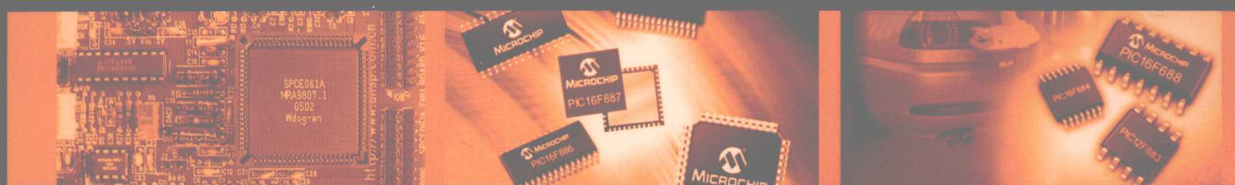




高职高专“十一五”电子信息类专业规划教材

单片机 原理及应用



林毓梁 主编



赠送电子课件等



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

高职高专“十一五”电子信息类专业规划教材

单片机原理及应用

主 编 林毓梁
副主编 翟庆一 张晓艳 单英杰
参 编 叶露林 万家富 肖 颖
主 审 蔡 平



机械工业出版社

本书以 8051 单片机为主体,并结合 AT89S51 单片机,系统地介绍了 MCS-51 单片机的工作原理和应用技术。主要内容包括单片机的基础知识、内部结构和工作原理、指令系统、汇编语言程序设计、中断系统、定时/计数器、串行通信、系统扩展技术、应用系统接口技术等,并详细介绍了如何利用 Keil 和 Proteus 仿真软件进行单片机软、硬件系统仿真的方法。

本书汇集了多所高职院校教师在讲授单片机技术课程过程中积累的教学与实践经验,在内容上以“淡化理论、突出应用”为原则,旨在使学生熟悉单片机基本的开发环境,掌握单片机应用系统开发技术。

本书可作为高职高专院校电子信息类、自动化类专业单片机原理与应用技术课程的教材,也可作为单片机爱好者和工程技术人员参考用书。

本教材配有电子课件,凡使用本书作为教材的教师或学校可向出版社索取。您可以发送电子邮件至 cmpgaozhi@sina.com,或拨打咨询电话 010-88379375。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理及应用/林毓梁主编. —北京:机械工业出版社,2009.2

高职高专“十一五”电子信息类专业规划教材

ISBN 978-7-111-25863-6

I. 单… II. 林… III. 单片微型计算机-高等学校:技术学校-教材
IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 213885 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:于宁 责任编辑:于宁 曹雪伟

责任校对:刘怡丹 封面设计:王伟光

责任印制:洪汉军

北京汇林印务有限公司印刷

2009 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·11.25 印张·278 千字

0001—4000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-25863-6

定价:19.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379758

封面无防伪标均为盗版

前 言

单片微型计算机简称单片机,是将 CPU、存储器、I/O 接口、定时/计数器电路集成在一块芯片上而构成的计算机,是典型的嵌入式微控制器。由于单片机具有体积小、功能全、可靠性好、价格低廉的突出优点,因而广泛应用于工业控制、仪器仪表、交通运输、通信设备、办公设备、家用电器等众多领域,使得许多领域的自动化水平和自动化程度得以大幅度提高,成为现代电子系统中最重要的智能化器件之一。为适应现代化对单片机技术人才的需求,各高等职业院校电子信息类、自动化类专业纷纷开设单片机原理及应用技术课程,并将其作为专业核心课程之一。

MCS-51 单片机是 Intel 公司在 20 世纪 80 年代初研制出来的系列产品,在我国有着广泛的应用。目前单片机市场的主流仍然是采用 MCS-51 内核生产的 51 系列单片机。本书以 MCS-51 系列中的 8051 单片机为主体,并结合 AT89S51 单片机,系统地介绍 MCS-51 单片机的工作原理和应用技术。主要内容包括单片机的基础知识、内部结构和工作原理、指令系统、汇编语言程序设计、中断系统、定时/计数器、串行通信、系统扩展技术、应用系统接口技术等,并详细介绍了如何利用 Keil 和 Proteus 仿真软件进行单片机软、硬件系统仿真的方法。

本书汇集了多所高职院校教师在讲授单片机技术课程过程中积累的教学与实践经验,在内容上以“淡化理论、突出应用”为原则,旨在使学生熟悉单片机基本的开发环境,掌握单片机应用系统开发技术。

本书可作为高职高专院校电子信息类、自动化类专业单片机原理与应用技术课程的教材,也可作为单片机爱好者和工程技术人员的参考用书。

本书由济南铁道职业技术学院林毓梁老师主编。全书共分为 10 章,其中第 1 章由肖颖编写;第 2 章由万家富编写;第 3、5 章由单英杰编写;第 4、7 章由林毓梁编写;第 6 章由翟庆一编写;第 8、9 章由张晓艳编写;第 10 章由叶露林编写。全书由林毓梁与翟庆一老师统稿。济南铁道职业技术学院蔡平老师认真审阅了本书并提出了很多宝贵的修改意见。

由于编者的水平有限,书中难免有疏忽和错误的地方,恳请各位读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 单片机基础知识	1
1.1 单片机的基本概念	1
1.1.1 单片机的概念	1
1.1.2 单片机技术发展历程和趋势	1
1.1.3 单片机的系列产品介绍	4
1.1.4 单片机的应用	5
1.2 计算机中的数制和码制	6
1.2.1 数制	6
1.2.2 码制	8
本章小结	11
思考与练习	11
第2章 MCS-51 单片机的基本结构	12
2.1 MCS-51 单片机的结构与功能	12
2.1.1 8051 单片机的基本组成	12
2.1.2 AT89S51 单片机的引脚及功能	14
2.1.3 AT89S51 单片机并行口结构和功能	14
2.2 存储器配置	17
2.2.1 8051 单片机存储器配置简介	17
2.2.2 程序存储器 ROM	17
2.2.3 数据存储器 RAM	18
2.2.4 特殊功能寄存器 SFR	20
2.3 时钟电路与时序	23
2.3.1 CPU 时序	24
2.3.2 时钟电路	24
2.4 复位电路	25
2.4.1 复位的概念	25
2.4.2 复位电路设计	25
本章小结	26
思考与练习	27
第3章 单片机的开发工具	28
3.1 软件仿真工具	28
3.1.1 μ Vision2 开发环境简介	28
3.1.2 利用 Keil 进行软件仿真	33

3.1.3 常用窗口简介	37
3.2 硬件仿真工具	39
3.2.1 Proteus 简介	39
3.2.2 Proteus 仿真	44
本章小结	46
思考与练习	46
第4章 MCS-51 单片机指令系统	48
4.1 汇编语言	48
4.1.1 指令系统分类	48
4.1.2 指令格式	49
4.1.3 寻址方式	50
4.1.4 寻址空间及符号注释	53
4.2 数据传送指令	54
4.2.1 片内 RAM 数据传送指令	55
4.2.2 累加器 A 与片外 RAM 数据传送指令	56
4.2.3 查表指令	57
4.2.4 交换指令	58
4.2.5 栈操作指令	58
4.2.6 数据传送指令应用实例	59
4.3 算术运算指令	60
4.3.1 加法减法指令	60
4.3.2 乘法除法指令	61
4.3.3 加1、减1指令	62
4.3.4 十进制调整指令	62
4.3.5 算术运算指令应用实例	63
4.4 逻辑操作指令	64
4.4.1 逻辑与、或、异或指令	64
4.4.2 清0、取反指令	65
4.4.3 循环移位指令	66
4.4.4 逻辑运算指令应用实例	66
4.5 控制转移指令	67
4.5.1 无条件转移指令	67
4.5.2 条件转移指令	69
4.5.3 子程序调用、返回指令	70
4.5.4 空操作指令	72
4.5.5 控制转移指令应用实例	72

4.6 位操作指令	73	7.2 定时/计数器的四种工作模式 及应用	110
4.6.1 位数据传送指令	73	7.2.1 定时/计数器的初始化	110
4.6.2 位逻辑运算指令	74	7.2.2 模式0及应用	112
4.6.3 位清0、置1、取反指令	74	7.2.3 模式1及应用	113
4.6.4 位条件转移指令	75	7.2.4 模式2及应用	116
4.6.5 位操作指令应用实例	75	7.2.5 模式3及应用	118
本章小结	76	本章小结	118
思考与练习	77	思考与练习	119
第5章 汇编语言程序设计	80	第8章 串行通信	120
5.1 汇编语言程序设计概念	80	8.1 串行通信的基本知识	120
5.1.1 源程序编辑与汇编	80	8.1.1 串行通信的基本概念	120
5.1.2 伪指令	82	8.1.2 串行通信的基本通信方式	121
5.1.3 程序设计方法	83	8.2 8051单片机的串行口结构与控制	122
5.2 三种程序结构	84	8.2.1 串行口结构	122
5.2.1 顺序程序结构及设计方法	84	8.2.2 串行口控制	123
5.2.2 分支程序结构及设计方法	86	8.3 8051单片机的串行口工作方式	124
5.2.3 循环程序结构及设计方法	87	8.3.1 串行口波特率设计	124
5.3 子程序设计	92	8.3.2 串行口工作方式	125
5.3.1 子程序的概念	92	8.4 串行口应用举例	128
5.3.2 子程序的设计方法及举例	93	8.4.1 双机通信应用举例	128
本章小结	96	8.4.2 多机通信简介	130
思考与练习	96	本章小结	131
第6章 中断系统	98	思考与练习	132
6.1 中断系统结构与控制	98	第9章 系统扩展技术	133
6.1.1 中断的概念	98	9.1 系统扩展的概念及三总线结构	133
6.1.2 8051单片机的中断系统结构	99	9.1.1 系统扩展的概念	133
6.1.3 8051单片机的中断源	99	9.1.2 三总线结构	133
6.1.4 8051单片机的中断控制 寄存器	100	9.2 程序存储器的扩展	134
6.2 中断处理过程	103	9.2.1 常用程序存储器芯片	134
6.2.1 中断响应	103	9.2.2 程序存储器扩展实例	136
6.2.2 中断服务	104	9.3 数据存储器的扩展	138
6.2.3 中断返回	104	9.3.1 常用数据存储器芯片	138
6.3 中断应用实例	104	9.3.2 数据存储器扩展实例	139
6.3.1 外部中断的应用	104	9.4 并行I/O口扩展	141
6.3.2 外部中断源扩展	106	9.4.1 利用三总线直接扩展I/O口	141
本章小结	107	9.4.2 利用可编程并行接口芯 片扩展I/O口	142
思考与练习	107	本章小结	148
第7章 定时/计数器	108	思考与练习	148
7.1 定时/计数器的结构与控制	108	第10章 应用系统接口技术	149
7.1.1 定时/计数器的结构	108	10.1 键盘接口	149
7.1.2 定时/计数器的控制	109		



10.1.1 键盘的结构与原理	149
10.1.2 独立式键盘设计	150
10.1.3 矩阵式键盘设计	151
10.2 显示器接口	154
10.2.1 LED显示器的结构与原理	154
10.2.2 LED显示器接口设计实例	156
10.2.3 LCD显示器的接口设计	157
10.3 数/模转换接口	162
10.3.1 DAC0832的内部结构与 接口信号	162

10.3.2 DAC0832与8051单片 机的接口	164
10.4 模/数转换接口	165
10.4.1 ADC0809的内部结构与引脚	165
10.4.2 ADC0809与8051单片机 的接口	166
本章小结	169
思考与练习	169
附录 MCS-51 单片机指令表	170
参考文献	174

第1章 单片机基础知识

教学目的

掌握单片机的基本概念，了解单片机的发展趋势和在各领域中的应用，熟悉计算机中常用的数制和码制。

学习要点

1. 单片机的概念
2. 单片机的发展趋势
3. 数制和码制

1.1 单片机的基本概念

1.1.1 单片机的概念

单片机是单片微型计算机的简称，又称为单片微控制器，它不仅仅是完成某一个逻辑功能的芯片，而是将中央处理器、存储器、输入输出接口、定时/计数器等微型计算机系统部件集成到一个芯片上而构成的计算机。概括地讲：一块芯片就成了一台计算机。它体积小、质量轻、价格低廉，为学习、应用和开发提供了便利条件。单片机的另外一个名称是嵌入式微控制器，原因在于它可以嵌入到任何微型或小型仪器、设备中。Intel 公司在单片机出现时，就给予其取名为嵌入式微控制器（Embedded Microcontroller）。单片机最明显的优势就是可以嵌入到各种仪器、设备中。了解单片机知识，掌握单片机的应用技术具有重要的意义。

单片机具有以下特点：

- 1) 体积小、成本低，可广泛用于仪表、自动控制、通信和家用电器等领域。
- 2) 稳定可靠。芯片在设计时，都是按照工业控制要求设计的，因此抗工业噪声干扰性能优于一般的中央处理器（Central Process Unit, CPU）；由于程序存储器集成在芯片内部，许多信号通道也集成在芯片内部，因此可靠性高。
- 3) 高性能、高速度。为了满足工业发展的要求，单片机增强了控制功能、接口功能，丰富了指令系统，可支持多种语言进行单片机系统开发。某些单片机的总线频率已达到了32MHz。
- 4) 寿命长、适应性强。一方面指用单片机开发的产品可以稳定可靠地工作10年、20年；另一方面是指与微处理器相比，单片机的生存周期长。
- 5) 控制功能强。为了满足工业控制的要求，单片机提供了丰富的指令系统，可实现复杂的控制功能。

1.1.2 单片机技术发展历程和趋势

自单片机技术诞生至今，已走过了近30年的发展历程。从这30年发展历程可以看出，



单片机技术的发展以微处理器 (MPU) 技术及超大规模集成电路技术的发展为先导, 以广泛的应用领域为动力, 表现出较微处理器更具个性的发展趋势。

1. 单片机的发展阶段

单片机的发展大致经历了以下三个阶段:

1) 初级阶段。20 世纪 70 年代, 美国的仙童公司 (Fairchild) 首先推出了第一款单片机 F-8, 随后, Intel 公司推出了这一阶段具有代表意义的 MCS-48 单片机, 此阶段的单片机是 8 位机, 有并行 I/O 口, 没有串行口, 寻址范围小于 4KB。我们把 1978 年以前称为单片机发展的初级阶段。

2) 中级 (成熟) 阶段。把 1978 ~ 1982 年称为单片机发展的成熟阶段, 在这个时期, 单片机的性能得到了很大的发展, 硬件结构日趋成熟, 指令系统逐渐完善。最具代表意义的单片机就是 Intel 公司的 MCS-51、Motorola 公司的 6801 以及 Zilog 公司的 Z8 等, 这些单片机具有多级中断处理系统、16 位定时/计数器、串行端口, 存储器的寻址范围可达 64KB, 有些芯片还扩展了 A/D 转换器接口。因此, 这一类单片机的应用领域及其广泛, 在工业控制领域和电子测量方面也得到了广泛的应用。

3) 高级 (发展) 阶段。1982 年以后单片机的发展进入了高级阶段, 这一时期的主要特征是速度越来越快、功能越来越强、品种越来越多。8 位机进入改良阶段, 16 位机和 32 位机相继出现, 8 位、16 位、32 位单片机共同发展, 这是当前单片机技术发展的另一动向。目前, 单片机技术的发展仍然以 8 位机为主。随着具有移动通信技术、网络技术以及多媒体技术等的高科技产品进入家庭, 32 位单片机的应用得到了长足发展。此外, 16 位单片机的发展无论从品种方面还是产量方面, 近年来都有较大幅度的增长。

2. 单片机技术的发展方向

随着单片机需求的发展, 各生产厂家都不断地改善单片机的功能, 单片机技术的进步反映在内部结构、功率消耗、外部电压等级以及制造工艺上。在这几方面, 较为典型地说明了单片机的水平。目前, 用户对单片机的需要越来越多, 要求也越来越高。下面分别就以下五个方面说明单片机技术的进步和发展状况。

(1) 内部结构的进步和发展 单片机内部集成的部件越来越多。这些部件包括一般常用的电路, 例如: 定时器, 比较器, A/D 转换器, D/A 转换器, 串行通信接口, Watchdog 电路, LCD 控制器等。

有的单片机为了构成控制网络或形成局部网, 内部含有局部网络控制模块 CAN。例如, Infineon 公司的 C505C、C515C、C167CR、C167CS-32FM、81C90; Motorola 公司的 68HC08AZ 系列等。特别是在单片机 C167CS-32FM 中, 内部集成了 2 个 CAN 控制器。因此, 这类单片机十分容易构成网络, 在控制系统较为复杂时十分有用。

为了能在变频控制中方便地使用单片机, 形成最具经济效益的嵌入式控制系统。有的单片机内部设置了专门用于变频控制的脉宽调制控制电路, 这些单片机有 Fujitsu 公司的 MB89850 系列、MB89860 系列; Motorola 公司的 MC68HC08 系列 MR16、MR24 等。在这些单片机中的脉宽调制电路有 6 个通道输出, 可产生三相脉宽调制交流电压, 并且内部含死区控制等功能。

特别引人注目的是, 现在有的单片机已采用所谓的三核 (TrCore) 结构。这是一种建立在系统级芯片 (System on a chip) 概念上的结构。这种单片机由三个核组成: 一个是微控制

器和数字信号处理器 (Digital Signal Processing, DSP); 一个是数据和程序存储器核; 最后一个是外围专用集成电路 (ASIC)。这类单片机的最大特点在于把 DSP 和微控制器同时集成在一个片上。虽然从结构定义上讲, DSP 是单片机的一种类型, 但其作用主要反映在高速计算和特殊处理 (如快速傅立叶变换等) 上, 把它和传统单片机结合, 可以大大提高单片机的功能。这是目前单片机最大的进步之一。这种单片机最典型的有 Infineon 公司的 TC10GP, Hitachi 公司的 SH7410、SH7612 等。这些单片机都是高档单片机, 微控制器 (Micro Controller Unit, MCU) 都是 32 位的, 而 DSP 采用 16 或 32 位结构, 工作频率一般在 60MHz 以上。

(2) 功耗、封装及电源电压的进步 现在新的单片机的功耗越来越小, 特别是很多单片机都设置了多种工作方式, 这些工作方式包括等待、暂停、睡眠、空闲、节电等工作方式。Philips 公司的单片机 P87LPC762 是一个很典型的例子, 在空闲时, 其功耗为 1.5mA, 而在节电方式中, 其功耗只有 0.5mA。而在功耗上最令人惊叹的是 TI 公司的 MSP430 系列单片机, 它是一个 16 位的单片机系列, 有超低功耗工作方式。它的低功耗方式有 LPM1、LPM3、LPM4 三种: 当电源为 3V 时, 如果工作于 LPM1 方式, 即使外围电路处于活动, 由于 CPU 不活动, 振荡器处于 1~4MHz, 这时功耗只有 50 μ A; 在 LPM3 方式时, 振荡器处于 32kHz, 这时功耗只有 1.3 μ A; 在 LPM4 方式时, CPU、外围及振荡器都不活动, 则功耗只有 0.1 μ A。

(3) 电源电压的进步 扩大电源电压范围以及在较低电压条件下仍然能工作是今天单片机发展的目标之一。目前, 一般单片机都可以在 3.3~5.5V 的条件下工作。而有一些厂家现已生产出可以在 2.2~6V 的条件下工作的单片机。这些单片机有 Fujitsu 公司的 MB89191~89195, MB89121~125A, MB89130 系列等, 而且该公司的 F2MC-8L 系列单片机绝大多数都满足 2.2~6V 的工作电压条件。此外, TI 公司的 MSP430X11X 系列的工作电压也可以低至 2.2V。

(4) 制造工艺上的进步 现在的单片机基本上采用的是 CMOS 技术, 且大多数已经采用了 0.6 μ m 以上的光刻工艺。有个别的公司, 如 Motorola 公司则已采用 0.35 μ m 甚至是 0.25 μ m 光刻工艺技术。这些技术的进步大大地提高了单片机的内部密度和可靠性。

单片机的封装水平也已经大大提高, 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方式, 以大量减小体积。如 Microchip 公司推出的 8 引脚的单片机, PIC12CXXX 系列, 它有 0.5~2KB 程序存储器, 25~128B 数据存储器, 6 个 I/O 端口以及一个定时器, 有时还含 4 通道 A/D 转换器, 完全可以满足一些低档系统的应用。

(5) 应用领域的拓展 随着单片机功能和性能的提高, 其应用领域不断拓展。目前, 把单片机嵌入式设备和 Internet 连接已是一种趋势。Internet 一向是一种采用服务器-客户机模式的技术。要实现嵌入式设备和 Internet 连接, 就需要把传统的 Internet 理论和嵌入式设备的实践都颠倒过来。为了使嵌入式设备 (例如单片机控制的机床、单片机控制的门锁) 能切实可行地和 Internet 连接, 就要求专门为嵌入式微控制器设备设计网络服务器, 使嵌入式设备可以和 Internet 相连, 并通过标准网络浏览器进行远程控制。目前, 为了把以单片机为核心的嵌入式设备和 Internet 相连, 已有多家公司在进行这方面的研究, 并且已经运用于实际。

综上所述, 单片机在目前的发展形势下, 表现出几大趋势:

1) 可靠性及应用水平越来越高, 和 Internet 连接已是一种明显的趋势。



- 2) 所集成的部件越来越多。
- 3) 功耗越来越低, 和模拟电路结合越来越多。

随着半导体工艺技术的发展及系统设计水平的提高, 单片机还会不断产生新的变化和进步, 最终人们可能发现, 单片机与微机系统之间的差距会越来越小, 甚至难以辨认。

1.1.3 单片机的系列产品介绍

单片机种类繁多, 而且各大公司还在不断推出新的、更高性能的单片机品种。从国内使用情况来看, MCS-51 系列单片机的应用最为广泛。下面介绍几个著名的单片机生产厂家的产品型号及特点。

1. 8051 类单片机

最早由 Intel 公司推出的 8051/8031 类单片机也是世界上使用量最大的几种单片机之一, 后来 8051 类单片机主要由 Philips、三星、华邦和 ATMEL 等公司生产。这些公司都在保持与 8051 单片机兼容的基础上改善了 8051 单片机的许多特性 (如时序特性), 提高了速度, 降低了时钟频率, 放宽了电源电压的动态范围, 降低了产品价格。

2. Motorola 公司单片机

Motorola 是世界上最大的单片机生产厂商, 已有二百多个品种, 选择余地较大。在 8 位机有 68HC05 和升级产品 68HC08 两个系列, 68HC05 系列有三十多个型号, 产量已超过 20 亿片。8 位增强型单片机有 68HC11 和 68HC12 两个系列。16 位单片机的 68HC16 系列有十多个型号。32 位单片机的 683 × × 系列也有几十个型号。近年来, 将 DSP 作为辅助模块集成的单片机也纷纷推出。Motorola 单片机的特点之一是在同样速度下所用的时钟频率较 Intel 公司生产的单片机低很多, 因而使其高频噪声较低, 抗干扰能力强, 更适合用于工控领域及恶劣的环境。

3. Microship 公司的单片机

Microship 单片机是市场增长最快的单片机。它的主要产品是 16C 系列 8 位单片机, CPU 采用 RISC 结构, 仅有 33 条指令, 运行速度快, 而且价位较低。Microship 强调整约成本的最优化设计, 适于用量大、价格低的产品。

4. 华邦公司的单片机

华邦公司生产的单片机属 8051 类单片机, 它的 W78 系列与标准的 8051 单片机兼容, W77 系列是增强型 51 系列, 对 8051 单片机的时序作了改进。在同样时钟频率下速度提高 2.5 倍, 程序存储器容量从 4KB 到 64KB, 有在线可编程 (In System Programming, ISP) 功能。华邦的 4 位单片机有 921 系列和带 LCD 驱动的 741 系列两种。另外华邦还使用惠普公司 PA-RISC 单片机技术, 生产低价位的 32 位 RISC 单片机。

5. Epson 公司的单片机

Epson 公司以制造液晶显示器著称, Epson 公司的单片机主要为该公司生产的 LCD 配套。其单片机的特点是 LCD 驱动部分性能优越。在低电压、低功耗方面也很有特点。目前 0.9V 电压供电的单片机已经上市。

6. Zilog 公司的单片机

Z8 单片机是 Zilog 公司的产品, 它采用多累加器结构, 有较强的中断处理能力。Z8 单片机以低价位的优势面向低端应用, 以 18 引脚封装为主, ROM 为 0.5 ~ 2KB。而后 Zilog 公

司又推出了 Z86 系列单片机, 该系列单片机内部集成了廉价的 DSP 单元。

7. NS 公司的单片机

COP8 单片机是美国国家半导体公司 (NS) 的产品, 该公司以生产先进的模拟电路著称, 能生产高水平的数字模拟混合电路。COP8 单片机片内集成了 16 位 A/D 转换器。COP8 单片机内部使用了抗电磁干扰 (EMI) 电路, 在看门狗电路以及 STOP (停机) 模式下的唤醒方式上有其独特的方法。另外, 在程序的加密控制方面 COP8 单片机做得也比较好。

8. 其他单片机

NEC 单片机有 8 位单片机 78K 系列, 也有 16 位、32 位单片机; 16 位以上单片机采用内部倍频技术, 以降低外部时钟频率; 有的单片机采用内置操作系统。东芝单片机从 4 位到 64 位单片机门类齐全; 4 位单片机在家电领域仍有较大的市场; 8 位单片机主要有 870 系列、900 系列等, 这类单片机允许使用慢模式, 采用 32kHz 时钟时功耗降至 $10\mu\text{A}$ 数量级, CPU 内部多组寄存器的使用, 使得中断响应与处理更加快捷; 东芝的 32 位单片机采用 RISC 结构, 主要用于 VCD、数字相机和图像处理等领域。富士通公司的单片机有 8 位、16 位和 32 位, 但 8 位单片机使用的是 16 位单片机的 CPU 内核, 也就是说 8 位单片机与 16 位单片机所用的指令系统相同, 使得开发比较容易; 8 位单片机为 MB8900 系列, 16 位单片机有 MB90 系列。三星公司的单片机的 4 位单片机有 KS51 系列和 KS57 系列, 8 位单片机有 KS86 系列和 KS88 系列, 16 位单片机有 KS17 系列, 32 位单片机有 KS32 系列; 三星公司的单片机在 4 位单片机上采用 NEC 的技术, 8 位单片机上引进 Zilog 公司 Z8 的技术, 在 32 位单片机上引进了 ARM7 内核。

1.1.4 单片机的应用

单片机在各个领域均得到了广泛地应用。主要有:

1. 智能化仪器仪表

如逻辑分析仪、色谱仪、医疗器械等。单片机用于仪器仪表中, 使之具有数据存储、数据处理、自动测试、自动校准及自动诊断故障的能力, 增加了仪器仪表功能, 提高了测量精度和测量的可靠性。

2. 实时工业控制

如过程控制、数控机械、工业机器人等。利用单片机进行生产过程的实时控制, 既可以提高自动化水平、提高控制的准确度、提高产品质量, 又可以降低成本, 减小劳动强度。

3. 计算机智能终端

如计算机键盘、打印机等。单片机用于计算机智能终端, 使之能够脱离主机而独立工作, 尽量少占用主机时间, 从而让主机有更多时间进行其他工作, 提高主机的计算速度和处理能力。

4. 通信设备

如程控交换机等通信设备, 也广泛地使用单片机作为核心部件。计算机技术和通信技术相结合的产物——计算机通信网, 不仅成为现代通信网最主要的组成部分, 且其本身也表明了近代通信与计算机技术密不可分的关系。

5. 导航系统

如自动巡航系统、导弹制导控制等。单片机用于飞机的飞行控制、导弹的制导, 能够对



目标数据进行计算、分析，并向地面指挥系统传送数据及接收指令，使得目标跟踪更准确。

6. 家用电器

如全自动洗衣机、自动控温冰箱、智能电饭煲。单片机用于家用电器，使其应用简捷、方便，并且使产品智能化，从而满足用户的高层次需求。

1.2 计算机中的数制和码制

1.2.1 数制

所谓数制是指数的制式，是人们利用符号计数的一种方法。数制有很多种，微型计算机中常用的数制有十进制、二进制、八进制和十六进制等。下面对十进制、二进制和十六进制三种常用数制进行介绍。

1. 十进制

十进制是最经常、最广泛使用的一种计数制，它有如下特点：

- 1) 有 10 个有效的数码：0 ~ 9。
- 2) 按照“逢十进一、借一当十”的规则计数。
- 3) 同一个数码在不同的位置时代表的数值不同，即位权不同。例如，十进制数 888 三个数字都是 8，但是最右边的数码 8 是个位数，表示 8；中间的数码 8 是十位数，表示 80；最左边的数码 8 是百位数，表示 800。

十进制数的位权从低位到高位分别为个位 (10^0)、十位 (10^1)、百位 (10^2)、…，对于第 n 位十进制数，位权为 10^{n-1} 。在编写程序的时候十进制后用 D 来区分，如 123，编程时表示成 123D。对于十进制数，也可以不写 D，在不写后缀时，系统默认是十进制数。

2. 二进制

计算机中经常使用的是二进制数。二进制数有如下特点：

- 1) 仅有两个有效的数码：0、1。
- 2) 按照“逢二进一、借一当二”的规则计数。
- 3) 同一个数码在不同的位置时位权不同。例如，二进制数 111 三个数码都是 1，但是最右边的数码 1，表示 1；中间的数码 1，表示十进制的 2；最左边的数码 1，表示十进制的 4。

对于整数，二进制数的位权从低位到高位分别为 1 (2^0)、2 (2^1)、4 (2^2)、…，对于第 n 位二进制数，位权为 2^{n-1} 。对于小数，二进制数的位权从左到右分别为 (2^{-1})、(2^{-2})、(2^{-3})、…，二进制数在其后用 B 来区分，如 11010，编程时表示成 11010B。

3. 十六进制

二进制数书写冗长，易错，难记，而十进制数和二进制数之间的转换复杂，所以在计算机中一般用十六进制表示二进制的缩写，十六进制数有如下特点：

- 1) 有 16 个有效的数码：0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A (10)、B (11)、C (12)、D (13)、E (14)、F (15)。
- 2) 按照“逢十六进一、借一当十六”的规则计数。
- 3) 同一个数码在不同的位置时位权不同。例如，十六进制数 111 三个数码都是 1，但

是最右边的数码 1, 表示 $1 (16^0)$; 中间的数码 1, 表示 $16 (16^1)$; 最左边的数码 1, 表示 $256 (16^2)$ 。

十六进制数的位权从低位到高位分别为 16^0 、 16^1 、 16^2 、..., 对于第 n 位二进制数, 位权为 16^{n-1} 。十六进制数在其后用 H 来区分, 如 13B4, 编程时表示成 13B4H。

除了十进制、二进制和十六进制之外, 还有其他计数方法。但是十进制、二进制和十六进制是单片机经常使用的三种计数方法。这三种计数方法之间可以互相转换。

4. 二进制数与十进制数之间的转换

(1) 把十进制数转换为二进制数 把十进制数转换为二进制数分为整数部分和小数部分两部分进行。

1) 整数部分转换的方法是: 除 2 取余法。步骤为: 把给定的十进制数用短除的方法除以 2, 取出余数 (0 或 1), 一直到商为 0 为止。注意: 读数的顺序, 最先取出的余数为二进制数的最低位, 最后取出的余数为二进制数的最高位。

2) 小数部分转换的方法是: 乘 2 取整法。步骤为: 把所给的小数乘以 2, 依次取出整数。

【例 1-1】把十进制数 $(143.8125)_{10}$ 转换为二进制数。

解:

整数部分			小数部分		
	余数				
2 143	 1	K_0 最低位	0.8125 × 2		取整
2 71	 1	K_1	1 6250	 1	K_{-1}
2 35	 1	K_2	× 2		
2 17	 1	K_3	1 250	 1	K_{-2}
2 8	 0	K_4	× 2		
2 4	 0	K_5	0 50	 0	K_{-3}
2 2	 0	K_6	× 2		
2 1	 1	K_7 最高位	1 0	 1	K_{-4}

↑
逆序排列

↓
读数顺序

即 $(143.8125)_{10} = (10001111.1101)_2$

(2) 把二进制数转换为十进制数 把二进制数转换为十进制数的方法是: 按权展开, 然后把数值相加。

【例 1-2】把二进制数 $(1101010)_2$ 转换为十进制数。

解: 首先把 1101010 按权展开, 然后相加, 即

$$\begin{aligned} (1101010)_2 &= 1 \times 2^6 + 1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 \\ &= 64 + 32 + 8 + 2 = (106)_{10} \end{aligned}$$

5. 十六进制数与十进制数之间的转换

(1) 把十进制数转换为十六进制数 把十进制数转换为十六进制数和把十进制数转换为二进制数方法基本相同, 分为整数部分和小数部分两部分进行。

1) 整数部分转换的方法是: 除 16 取余法。步骤为: 把给定的十进制数用短除的方法



除以 16，取出余数（0 或 1），一直到商为 0 为止。注意：读数的顺序，最先取出的余数为十六进制数的最低位，最后取出的余数为十六进制数的最高位。

2) 小数部分转换的方法是：乘 16 取整法。步骤为：把所给的小数乘以 16，依次取出整数。

(2) 把十六进制数转换为十进制数 把十六进制数转换为十进制数的方法是：按权展开，然后把数值相加。

【例 1-3】 把二进制数 $(1C09)_{16}$ 转换为十进制数。

解：首先把 1C09 按权展开，然后相加，即

$$(1C09)_{16} = 1 \times 16^3 + 12 \times 16^2 + 0 \times 16^1 + 9 \times 16^0 = 4096 + 3072 + 0 + 9 = (7177)_{10}$$

6. 二进制数与十六进制数之间的转换

(1) 把二进制数转换为十六进制数 二进制数转换成十六进制数时，只要从小数点位置开始，向左或向右每四位二进制划分为一组（不足四位时可补 0，整数部分，高位补 0，小数部分，低位补 0），然后写出每一组二进制数所对应的十六进制数码即可。

【例 1-4】 把二进制数 $(1100101.01101)_2$ 转换为十六进制数。

解：

对于整数部分，从最低位开始，每四位二进制划分为一组，不足 4 位高位补 0，所以

$$(1100101)_2 = (110\ 0101)_2 = (0110\ 0101)_2 = (65)_{16}$$

对于小数部分，从小数点开始，每四位二进制划分为一组，不足 4 位低位补 0，所以

$$(0.01101)_2 = (0.01101)_2 = (0.01101000)_2 = (0.68)_{16}$$

即

$$(1100101.01101)_2 = (65.68)_{16}$$

(2) 把十六进制数转换为二进制数 把十六进制数转换为二进制数的方法是：将每位十六进制数分别用四位二进制数表示，就可完成十六进制数和二进制数的转换。

【例 1-5】 把十六进制数 $(68A3)_{16}$ 转换为二进制数。

解： $6 = (0110)_2$, $8 = (1000)_2$, $A = (1010)_2$, $3 = (0011)_2$

即

$$(68A3)_{16} = (0110\ 1000\ 1010\ 0011)_2$$

1.2.2 码制

在二进制数字系统中，每一位数只能用 0 或 1 表示两个不同的信号。为了能用二进制数表示更多的信号，把若干个 0 和 1 按一定的规律编成代码，并赋予每个代码以固定的含义，这就叫做编码。

1. 有符号数

计算机中整数的表示分无符号数和有符号数两种。对无符号数来说，没有符号位，二进制数的所有位均为数值位，所以单字节无符号数的表示范围是 0 ~ 255。对有符号数来说，需要用一位符号位来区分正数和负数，有符号数的表示有原码、反码和补码三种编码形式。

(1) 原码 计算机在数的运算中，不可避免地会遇到正数和负数，那么正负符号如何表示呢？由于计算机只能识别 0 和 1，因此，我们将一个二进制数的最高位用作符号位来表示这个数的正负。规定符号位用 0 表示正，用 1 表示负。例如 $X = -1101010B$, $Y = +1101010B$ ，则 X 表示为：11101010B，Y 表示为：01101010B。

当正数的符号位用 0 表示, 负数的符号位用 1 表示, 数值部分用真值的绝对值来表示的二进制数称为原码, 用 $[X]_{\text{原}}$ 表示, 设 X 为整数。

若 $X = +X_{n-2}X_{n-3}\cdots X_1X_0$, 则 $[X]_{\text{原}} = 0X_{n-2}X_{n-3}\cdots X_1X_0 = X$;

若 $X = -X_{n-2}X_{n-3}\cdots X_1X_0$, 则 $[X]_{\text{原}} = 1X_{n-2}X_{n-3}\cdots X_1X_0 = 2^{n-1} - X$ 。

其中, X 为 $n-1$ 位二进制数, X_{n-2} 、 X_{n-3} 、 $\cdots$ 、 X_1 、 X_0 为二进制数 0 或 1。例如 +115 和 -115 在计算机中 (设机器数的位数是 8) 其原码可分别表示为

$$[+115]_{\text{原}} = 01110011\text{B}, [-115]_{\text{原}} = 11110011\text{B}$$

可见, 真值 X 与原码 $[X]_{\text{原}}$ 的关系为

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

值得注意的是, 由于 $[+0]_{\text{原}} = 00000000\text{B}$, 而 $[-0]_{\text{原}} = 10000000\text{B}$, 所以数 0 的原码不惟一。

(2) 反码 一个正数的反码, 等于该数的原码; 一个负数的反码, 由它的正数的原码按位取反形成。反码用 $[X]_{\text{反}}$ 表示。

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

若 $X = -X_{n-2}X_{n-3}\cdots X_1X_0$, 则 $[X]_{\text{反}} = 1\bar{X}_{n-2}\bar{X}_{n-3}\cdots\bar{X}_1\bar{X}_0$ 。

例如: $X = +103$, 则 $[X]_{\text{反}} = [X]_{\text{原}} = 01100111\text{B}$; $X = -103$, $[X]_{\text{原}} = 11100111\text{B}$, 则 $[X]_{\text{反}} = 10011000\text{B}$ 。

(3) 补码 要了解补码首先要了解码制中“模”的概念, “模”是指一个计量系统的计数量程。如, 时钟的模为 12。任何有模的计量器, 均可化减法为加法运算。仍以时钟为例, 设当前时钟指向 11 点, 而准确时间为 7 点, 调整时间的方法有两种, 一种是时钟倒拨 4 小时, 即 $11 - 4 = 7$; 另一种是时钟正拨 8 小时, 即 $11 + 8 = 12 + 7 = 7$ 。由此可见, 在以 12 为模的系统中, 加 8 和减 4 的效果是一样的, 即 $-4 = +8 \pmod{12}$ 。

对于 n 位计算机来说, 数 X 的补码定义为

$$X = \begin{cases} X & 0 \leq X < 2^{n-1}; (\text{mod } 2^n) \\ 2^n + X & -2^{n-1} \leq X \leq 0 \end{cases}$$

即正数的补码就是它本身, 负数的补码是真值与模数相加而得。

例如, $n = 8$ 时:

$$[+75]_{\text{补}} = 01001001\text{B}$$

$$[-73]_{\text{补}} = 10000000\text{B} - 01001001\text{B} = 10110111\text{B}$$

$$[0]_{\text{补}} = [+0]_{\text{补}} = [-0]_{\text{补}} = 00000000\text{B}$$

可见, 数 0 的补码表示是惟一的。在用补码定义求负数补码的过程中, 由于做减法不方便, 一般不用该方法。负数补码的求法: 用原码求反码, 再在数值末位加 1, 即: $[X]_{\text{补}} = [X]_{\text{反}} + 1$ 。例如: $[-30]_{\text{补}} = [-30]_{\text{反}} + 1 = 11100001 + 1 = 11100010\text{B}$ 。8 位二进制补码能表示的范围是: $-128 \sim +127$, 若超过此范围, 则为溢出。

2. BCD 码

在计算机中, 各种数据要转换为二进制代码才能进行处理, 而人们习惯于使用十进制



数，输入、输出仍采用十进制数，这样就产生了用四位二进制数表示 1 位十进制数的计数方法，这种用于表示十进制数的二进制代码称为二—十进制代码（Binary Coded Decimal），简称为 BCD 码。最常用的是 8421 BCD 码，它具有二进制数的形式以满足数字系统的要求，又具有十进制数的特点（只有 10 种数码状态有效）。运算法则是逢 10 进 1，8421BCD 码每位的权值为 8，4，2，1，所以得此名，如表 1-1 所示。

表 1-1 8421BCD 编码表

十进制数	8421BCD 码	二进制数	十进制数	8421BCD 码	二进制数
0	0000	0000	8	1000	1000
1	0001	0001	9	1001	1001
2	0010	0010	10	0001 0000	1010
3	0011	0011	11	0001 0001	1011
4	0100	0100	12	0001 0010	1100
5	0101	0101	13	0001 0011	1101
6	0110	0110	14	0001 0100	1110
7	0111	0111	15	0001 0101	1111

将十进制数转换成 8421 码的方法是：将每一位十进制数用四位二进制代码表示，按位转换。

例如 $(57)_{10} = (0101\ 0111)_{8421BCD}$

把 8421 码转换成十进制数的方法是：将 8421 码每四位分为一组，每一组对应一位十进制数。

例如 $(1001\ 0110)_{8421BCD} = (96)_{10}$

3. ASCII 码

ASCII 码是一种字符编码，是美国信息交换标准代码的简称，如表 1-2 所示，它由 8 位二进制数码构成，低 7 位是字符的 ASCII 码值；最高位是通信时的校验位，共有 128 个字符。

表 1-2 ASCII 码字符表

H \ L	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111
0000	NUL	DLE	SP	0	@	P	'	p
0001	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
0010	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
0011	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
0100	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t
0101	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
0110	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
0111	BEL	ETB	,	7	G	W	g	w
1000	BS	CAN	)	8	H	X	h	x
1001	HT	EM	(	9	I	Y	i	y
1010	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
1011	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
1100	FF	FS	,	<	L	\	l	
1101	CR	GS	-	=	M	]	m	}
1110	SO	RS	.	>	N	^	n	~
1111	SI	US	/	?	O	—	o	DEL