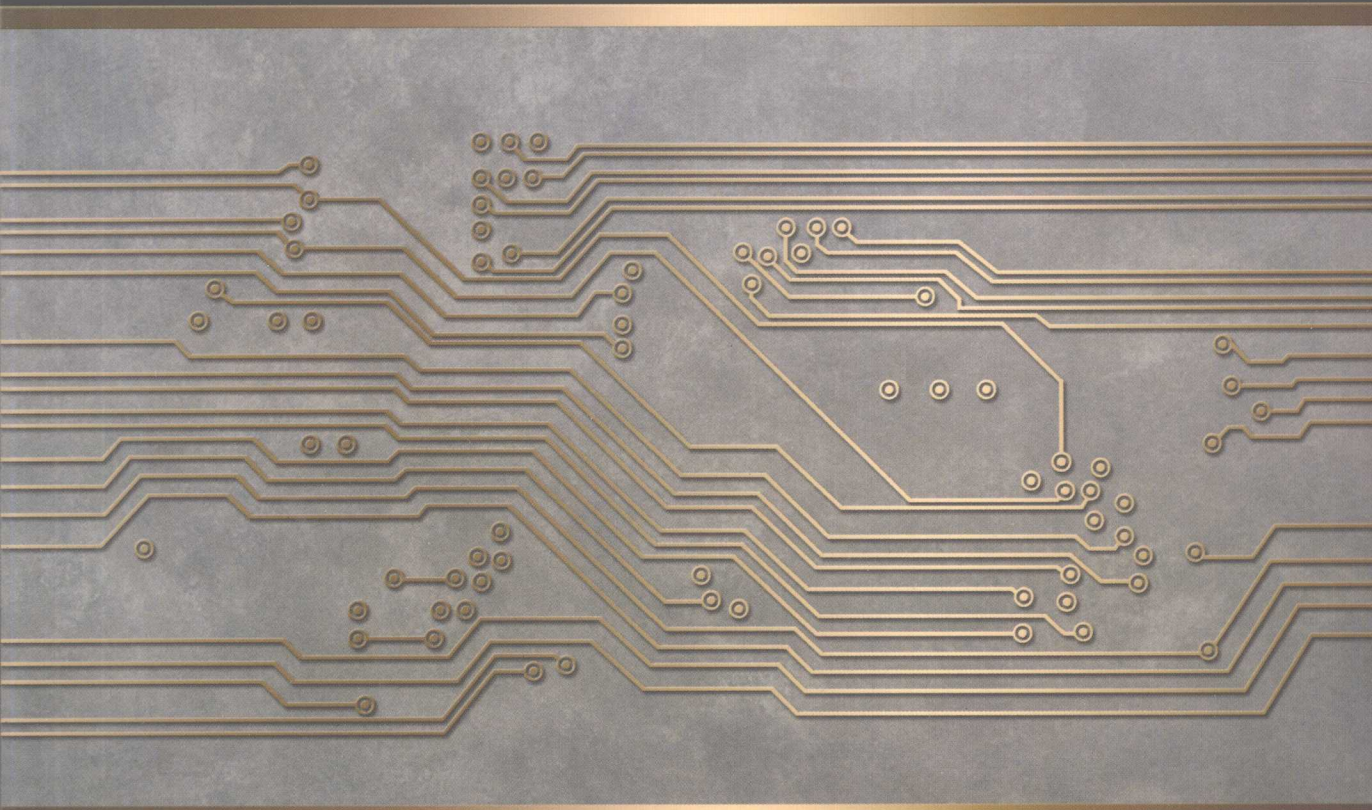


新编电气与电子信息类本科规划教材

单片机原理及应用

—— 基于Proteus和Keil C

林立 张俊亮 曹旭东 刘得军 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

单片机原理及应用

——基于 Proteus 和 Keil C

林 立 张俊亮 曹旭东 刘得军 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以 MCS-51 系列单片机 80C51 为例介绍单片机的工作原理、基本应用与开发技术。主要内容包括：单片机基础知识、内外系统结构、汇编与 C51 语言、中断与定时/计数器、串口通信、系统接口、应用系统设计等。

本书在单片机传统教学体系的基础上进行了较大改进，以 C51 编程语言作为贯穿全书各章节的主线，并将单片机仿真软件 Proteus 和 C51 编译软件 Keil 的用法与之紧密衔接，书末附有与教学进度呼应的 8 个实验指导及相关阅读材料。

本书可作为高等工科院校机械类、电气与电子信息类、计算机类各专业 48~64 学时要求的教材，也可作为从事嵌入式应用系统设计、生产从业人员的岗位培训教材及自学参考书。

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

单片机原理及应用：基于 Proteus 和 Keil C/林立等编著. —北京：电子工业出版社，2009.7
新编电气与电子信息类本科规划教材
ISBN 978-7-121-09007-3

I. 单… II. 林… 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(2009)第 091793 号

策划编辑：凌毅

责任编辑：凌毅 特约编辑：梁卫红

印刷：北京东光印刷厂

装订：三河市皇庄路通装订厂

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：17.5 字数：448 千字

印次：2009 年 7 月第 1 次印刷

印数：4000 册 定价：28.50 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。

前 言

“单片机原理及应用”是工科院校机械类、电气与电子信息类、计算机类各专业的重要技术基础课程。目前单片机教学中普遍存在以下问题：

(1)教材脱离教学学时实际。教材中包含的内容越来越多,难度也在不断加大。为此任课教师需要花很大力气重新组织教学内容,学生则须以教师讲义作为主要书面材料,教材有形同虚设的现象。

(2)教材内容忽略实际应用需求。目前单片机教程几乎清一色地将汇编语言作为主要甚至是唯一编程语言,而实际应用中所需的 C51 编程语言却没有得到足够的重视,学生在学完课程后仍缺乏实用编程能力。

(3)教材编写思路较少考虑学习者的认知规律。多数教材仍沿用先理论后应用的传统编写思路,内容和结构上缺乏新意,面对抽象概念多、理解困难的学习呼声缺乏有效的改进办法。

(4)与教材配套的教学实验手段相对落后。多数教材仍默认基于电路实验箱的验证性实验的做法。由于受实验器材和实验学时的限制,学生难以得到足够的实践动手机会,教学实践效果很不理想。

为改变这一现状,我们认为,应当首先从改革教材体系的不适应性方面入手,本书在单片机传统教学体系的基础上进行了较大改进,其特色如下:

(1)以 C51 编程语言作为贯穿全书各章节的主线,汇编语言内容仅按能读懂源代码程序的要求安排。这与现有教材以汇编语言为主,C51 语言为辅的普遍做法截然不同。如此强化 C51 的目的很明显,就是为学生日后从事单片机应用系统开发打下扎实的基础。

(2)将近年来国际上热门的单片机仿真软件引进到教材体系中,并按照循序渐进、适度分散的原则,将 Proteus 和 Keil C51 与单片机内容紧密衔接,使单片机的抽象概念直观化,编程效果可视化。目前单片机教材中介绍 Proteus 内容的为数甚少,即使有也只是在书末附录中以新技术简介方式一带而过。而本书则是将其视作教学工具,要求学生逐步掌握。

(3)以仿真实验代替实物实验,本书附录 A 中设置了一组与重要知识点衔接、具有设计性或综合性特点的实验方案。为方便学生实验课前预览,每个实验指导里还包括了相关内容的阅读材料。由于仿真实验可以不受课堂学时的限制,不怕实验仪器损坏,学生会有更多的训练机会,有利于加深抽象概念的理解,掌握难度较大的编程和电路设计技能,收到事半功倍的效果。

(4)考虑到许多院校已有逐步取消或弱化“微机原理及接口技术”课程的趋势,在本书第 1 章中增加了“单片机学习的预备知识”一节,选学数制及布尔运算的有关内容;调整了部分章节结构,将传统做法中集中于接口章节的内容(如键盘、指示灯、显示器等内容)前移至编程语言章节中,以减小与原理教学内容的时间差,使学生尽早了解到学习用途,增加学习兴趣。

(5)本书中全部电路原理图都采用了 Proteus 原理图模块绘制,书中所有实例程序都通过了仿真调试,以此杜绝许多教材中存在电路图不规范、实例程序调不通的难堪问题。

本书在编写时吸收了同类教材的许多优点,在内容组织和选取上广泛听取了同行和学生的意见。尽可能按照循序渐进的认知规律组织教材内容,突出逻辑思路,避免前后内容跳跃式

发展;尽可能缩短理论讲解与实例介绍之间的时间差;在保证理论严密性的同时设法降低理解难度,尽量避免生僻枯燥的文字描述,适当增加趣味性。

本书提供免费的电子课件及程序代码,可登录电子工业出版社的华信教育资源网:www.huaxin.edu.cn 或 www.hxedu.com.cn,注册后免费下载。

本书由中国石油大学(北京)林立教授组织并统稿,其中第 1,2 章由张俊亮执笔,第 3,4,9 章和附录 A 由林立执笔,第 5,6 章由刘得军执笔,第 7,8 章由曹旭东执笔,陈晓晖博士参加了全书的校对工作。本书建议教学学时为 48~64。

本书的编写人员长期从事单片机应用项目的实际开发和教学工作。在编写本书的过程中,曾参考了兄弟院校的资料及其他相关教材,并得到许多同仁的关心和帮助,在此谨致谢意。

本书编写中得到了广州风标电子有限公司的大力支持,在此表示衷心感谢。

限于篇幅及编者的业务水平,在内容上若有局限和欠妥之处,竭诚希望同行和读者赐予宝贵的意见。

编 者
2009 年 6 月

目 录

第 1 章 单片机基础知识概述	1
1.1 单片机概述	1
1.1.1 单片机及其发展概况	1
1.1.2 单片机的特点和应用	2
1.1.3 单片机的发展趋势	3
1.1.4 MCS-51 单片机的学习	3
1.2 单片机学习的预备知识	4
1.2.1 数制及其转换	4
1.2.2 有符号数的表示方法	5
1.2.3 位、字节和字	6
1.2.4 BCD 码	6
1.2.5 ASCII 码	7
1.2.6 基本逻辑门电路	8
1.3 Proteus 应用简介	9
1.3.1 ISIS 模块应用举例	10
1.3.2 ARE5 模块应用举例	13
本章小结	16
习题	17
第 2 章 MCS-51 单片机的结构及原理	18
2.1 MCS-51 单片机的结构	18
2.1.1 MCS-51 单片机的内部结构	18
2.1.2 MCS-51 引脚及功能	21
2.2 MCS-51 的存储器结构	23
2.2.1 存储器划分方法	23
2.2.2 程序存储器	24
2.2.3 数据存储器	25
2.3 单片机的复位、时钟与时序	27
2.3.1 复位与复位电路	27
2.3.2 时钟电路	28
2.3.3 CPU 时序	29
2.4 并行 I/O 口	32
2.4.1 P1 口	33
2.4.2 P3 口	34
2.4.3 P0 口	35
2.4.4 P2 口	36

本章小结	36
习题	36
第 3 章 单片机的汇编语言与程序设计	38
3.1 汇编语言概述	38
3.1.1 汇编语言指令格式	38
3.1.2 描述操作数的简记符号	39
3.1.3 寻址方法	40
3.2 MCS-51 指令系统简介	42
3.2.1 数据传送与交换类指令	42
3.2.2 算术运算类指令	45
3.2.3 逻辑运算及移位类指令	48
3.2.4 控制转移类指令	50
3.2.5 伪指令	53
3.3 汇编语言的编程方法	54
3.3.1 Proteus 仿真开发系统	54
3.3.2 汇编程序应用举例	56
本章小结	59
习题	59
第 4 章 单片机的 C51 语言	60
4.1 C51 的程序结构	60
4.1.1 C51 语言概述	60
4.1.2 C51 的程序结构	60
4.2 C51 的数据结构	62
4.2.1 C51 的变量	62
4.2.2 C51 的指针	67
4.3 C51 与汇编语言的混合编程	69
4.3.1 在 C51 中调用汇编程序	69
4.3.2 在 C51 中嵌入汇编代码	71
4.4 C51 仿真开发环境	71
4.4.1 Keil 的编译环境 μ Vision3	71
4.4.2 基于 Proteus 和 Keil C 的程序开发过程	72
4.5 C51 应用编程初步	75
4.5.1 I/O 端口的简单应用	75
4.5.2 I/O 端口的进阶实践	84
本章小结	91
习题	91
第 5 章 单片机的中断系统	92
5.1 中断的概念	92
5.2 中断控制系统	93
5.2.1 中断系统的结构	93

5.2.2	中断请求标志寄存器	97
5.2.3	中断允许寄存器 IE	97
5.2.4	中断优先寄存器	98
5.3	中断处理过程	100
5.3.1	中断响应条件	100
5.3.2	中断响应过程	101
5.3.3	中断的撤销	102
5.4	中断的编程和应用举例	103
5.4.1	中断程序设计举例	103
5.4.2	扩展外部中断源	105
	本章小结	110
	习题	110
第6章	单片机的定时/计数器	111
6.1	定时/计数器的结构与工作原理	111
6.1.1	定时/计数器的结构	111
6.1.2	定时/计数器的工作原理	112
6.2	定时器的控制	113
6.2.1	方式控制寄存器 TMOD	113
6.2.2	控制寄存器 TCON	114
6.3	定时/计数器的工作方式	114
6.3.1	方式0	114
6.3.2	方式1	115
6.3.3	方式2	115
6.3.4	方式3	116
6.4	定时/计数器的编程和应用	117
6.4.1	定时功能应用举例	118
6.4.2	计数功能举例	130
	本章小结	133
	习题	133
第7章	单片机的串行通信技术	135
7.1	串行通信概述	135
7.1.1	数据通信	135
7.1.2	异步通信和同步通信	136
7.1.3	波特率的概念和串行通信的传输方向	137
7.2	串行口的结构组成及控制寄存器	137
7.2.1	串行口的结构组成	137
7.2.2	串行口控制寄存器	138
7.3	串行通信工作方式及应用举例	140
7.3.1	方式0(8位同步移位寄存器方式)及其应用	140
7.3.2	方式1(10位异步收发通信模式)	142

7.3.3	方式 2、方式 3 数据帧格式及应用举例	145
7.4	串行通信设计应用举例	147
7.4.1	串行通信的硬件连接	147
7.4.2	MAX232 与单片机的接口设计	148
7.4.3	应用举例——实现两个单片机点对点的数据通信	148
	本章小结	152
	习题	152
第 8 章	单片机接口技术	153
8.1	单片机的系统总线	153
8.1.1	三总线结构	153
8.1.2	地址锁存与地址译码	154
8.2	简单并行 I/O 口扩展	158
8.2.1	访问外设端口的软件设置	158
8.2.2	简单并行输出接口的扩展	159
8.2.3	简单并行输入接口的扩展	161
8.3	可编程并行接口芯片 8255A	163
8.3.1	8255A 的内部结构及引脚	163
8.3.2	8255A 工作方式及选择	164
8.3.3	8255A 与单片机的接口电路设计实例	165
8.4	数模转换芯片 DAC0832 及其接口设计	166
8.4.1	数模转换器的工作原理	166
8.4.2	D/A 转换器的主要技术指标	167
8.4.3	数模转换芯片 DAC0832	168
8.5	模数转换芯片 ADC0809 及其接口设计	171
8.5.1	逐次逼近式模数转换器的工作原理	172
8.5.2	A/D 转换的主要技术指标	172
8.5.3	ADC0809 引脚介绍	173
8.5.4	ADC0809 内部结构及工作时序	173
8.5.5	应用举例	174
8.6	开关量功率接口技术	176
8.6.1	功率驱动接口	176
8.6.2	光电隔离接口技术	179
8.6.3	功率驱动接口设计应用举例	180
	本章小结	183
	习题	184
第 9 章	单片机应用系统的设计与开发	185
9.1	单片机系统的设计开发过程	185
9.1.1	单片机典型应用系统	185
9.1.2	单片机应用系统的开发过程	186

9.2 单片机系统的可靠性技术	191
9.2.1 硬件抗干扰技术概述	192
9.2.2 软件抗干扰技术概述	193
9.3 单片机系统设计开发应用举例——智能仪器	194
9.3.1 功能概述	194
9.3.2 硬件电路设计	195
9.3.3 软件系统设计	195
9.3.4 仿真开发过程	200
本章小结	207
习题	207
附录 A 实验指导	208
实验 1 计数显示器	210
实验 2 指示灯/开关控制器	221
实验 3 LED 指示灯循环控制	226
实验 4 行列式键盘扫描中断编程	237
实验 5 电子秒表显示器	243
实验 6 单片机双机通信系统设计	247
实验 7 直流数字电压表设计	261
实验 8 步进电机控制设计	267
参考文献	270

第 1 章 单片机基础知识概述

内容概述:

本章主要介绍单片机的定义、发展历史,单片机分类方法、应用领域及发展趋势,单片机中数的表示和运算方法、基本逻辑门电路,以及与单片机系统仿真工具 Proteus 相关的内容。

教学目标:

- 了解单片机的概念及特点;
- 掌握单片机中数的表示和运算方法及基本逻辑门电路;
- 初步了解 Proteus 软件的功能。

1.1 单片机概述

1.1.1 单片机及其发展概况

1. 什么是单片机

单片机(Single-Chip-Microcomputer)又称为单片微计算机,它的结构特点是将微型计算机的基本功能部件(如中央处理器(CPU)、存储器、输入接口、输出接口、定时/计数器及终端系统等)全部集成在一个半导体芯片上。

虽然单片机只是一个芯片,但从组成还是从逻辑功能上来看,都具有微机系统的定义。与通用微型计算机相比,单片机体积小,可以嵌入到应用系统中作为指挥决策中心,使应用系统实现智能化。

2. 单片机的发展

1976年,Intel公司推出MCS-48系列单片机,以体积小、功能全、价格低等优点,得到了广泛的应用,成为单片机发展过程中的一个重要标志。

由于MCS-48系统的成功,单片机系列及单片机应用技术迅速发展。到目前为止,世界各地厂商已经相继研制出大约50个系列300多个品种的单片机产品。代表产品有Intel公司的MCS-51系列单片机(8位机)、Motorola公司的MC6801系列机、Zilog公司的Z-8系列机等。单片机应用领域不断扩大,除了在工业控制、智能仪表、通信、家用电器等领域应用外,在智能化、高档电子玩具产品中也大量采用单片机作为核心控制部件。

在8位单片机的基础上,又推出超8位单片机,其功能进一步加强。同时16位单片机也相继产生,其代表产品有Intel公司的MCS-96系列。

然而,由于各应用领域大量需要的仍是8位单片机,因此各大公司纷纷推出高性能、大容量、多功能的新型8位单片机。

目前,单片机正朝着高性能和多品种发展,但由于MCS-51系列8位单片机仍能满足绝大

多数应用领域的需要,可以肯定,以 MCS-51 系列为主的 8 位单片机,在当前及以后的相当一段时间内仍将占据单片机应用的主导地位。

1.1.2 单片机的特点和应用

一块单片机芯片就是一台具有一定规模的微型计算机,再加上必要的外围器件,就可以构成一个完整的计算机硬件系统。单片机的应用正在使传统的控制技术发生巨大的变化,它是对传统控制技术的一场革命。

1. 单片机的特点

① 具有良好的性能价格比。

② 集成度高,体积小,抗干扰能力强,可靠性高。单片机把各功能部件集成在一块芯片内且内部采用总线结构,从而减少了各芯片之间的连线,大大提高了单片机的可靠性与抗干扰能力。

③ 开发性能好,开发周期短,控制功能强。在开发过程中利用汇编或 C 语言进行编程,缩短了开发周期,同时,单片机的逻辑控制功能及运行速度均高于同一档次的微型计算机,这满足工业控制的要求。

④ 低功耗、低电压,具有掉电保护功能,广泛应用于各类智能仪器仪表中。

⑤ 通用性和灵活性好。系统扩展和配置较典型、规范,容易构成各种规模的应用系统。

2. 单片机的应用领域

单片机是一种集成度很高的微型计算机,在一块小芯片内就集成了一台计算机所具备的功能。与巨大体积和高成本的通用计算机相比,单片机以其体积小、结构紧凑、高可靠性以及高抗干扰能力和高性能价格比等特点,广泛应用于人们生产生活的各个领域,成为现代电子系统中最重要的智能化工具。它主要应用于以下领域:

① 工业自动化控制。如工业过程控制、过程监测、工业控制器及机电一体化控制系统等。这些系统除一些小型工控机之外,许多都是以单片机为核心的单机或多机网络系统,如工业机器人的控制系统是由中央控制器、感觉系统、行走系统、抓取系统等结点构成的多机网络系统。在这种集机械、微电子和计算机技术为一体的综合技术中,单片机发挥着非常重要的作用。

② 智能仪器仪表。单片机广泛应用于各种仪器仪表中,使仪器仪表智能化,并可以提高测量的自动化程度和精度,大大促进仪器仪表向数字化、智能化、多功能化、综合化和柔性化方向发展,提高其性能价格比。

③ 通信设备。单片机具有很强的多机通信能力,如多机系统(各种网络)中的各计算机之间的通信联系、计算机与其外围设备(键盘、打印机、传真机及复印机等)之间的协作都有单片机的参与。另外,随着 Internet 技术的发展,对于一些将单片机作为测控核心的智能装置或家用电器,如果将它们与 Internet 连接起来,进行网络通信,则既能充分利用现有的 Internet 技术和资源,又能使人们远程获得这些电子设备的信息并控制它们的运行。

④ 汽车电子与航空航天电子系统。通常这些系统中的集中显示系统、动力监测控制系统、自动驾驭系统、通信系统及运行监视器(黑匣子)等,都是将单片机嵌入其中实现系统功能。

⑤ 家用电器。单片机应用到消费类产品之中,能大大提高它们的性价比,提高产品在市场上的竞争力。目前家用电器几乎都是单片机控制的电脑产品,例如,空调、冰箱、洗衣机、微波炉、彩电、音响、家庭报警器及电子玩具等。

单片机的应用从根本上改变了传统控制系统的设计思想和设计方法。过去必须用模拟电路、数字电路及继电器控制电路实现的大部分功能,现在已能用单片机并通过软件方法实现。由于软件技术的飞速发展和各种软件系列产品的大量涌现,可以极大地简化硬件电路。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。微控制技术标志着一种全新概念的出现,是对传统控制技术的一次革命。

1.1.3 单片机的发展趋势

自单片机问世以来,经过 30 多年的发展,已从最初的 4 位机发展到 32 位机,同时体积更小,集成度更高,功能更强大。如今,单片机正朝多功能、多选择、高速度、低功耗、低价格以及大存储容量、强 I/O 功能及结构兼容方向发展。预计,今后单片机会在以下几个方面快速发展:

① 高集成度。单片机会将各种功能的 I/O 口和一些典型的外围电路集成在芯片内,使其功能更加强大。

② 高性能。单片机从单 CPU 向多 CPU 方向发展,因而具有了并行处理的能力,如 Rockwell 公司的单片机 6500/21 和 R65C29 采用了双 CPU 结构,其中每一个 CPU 都是增强型的 6502。为了提高速度和执行效率,在单片机中开始使用 RISC、流水线和 DSP 等设计技术,因而具有极高的运算速度。这类单片机的运算速度要比标准的单片机高出 10 倍以上,适合于进行数字信号处理,如德州仪器公司的 TMS320 系列信号处理单片机和 NEC 公司的 μ PD-7720 系列单片机等。

③ 低功耗。目前,市场上有二分之一的单片机产品已 CHMOS 化,这类单片机具有功耗小的优点,许多单片机已可以在 2.2V 电压下运行,有的能在 1.2V 或 0.9V 电压下工作,功耗为 μ W 级。

④ 高性价比。随着单片机的应用越来越广泛,各单片机厂家会进一步改进单片机的性能,从而增强产品的竞争力。同时,价格也是各厂家竞争的一个重要方面。所以,更高性价比的单片机会逐渐进入市场。

1.1.4 MCS-51 单片机的学习

单片机问世至今已有 30 余年了,在各个领域都发挥了极其重要的作用。单片机与应用系统相结合极大地提高了应用系统的功能和性能。实践表明,单片机技术开发的主力军是具有具体工程背景的专业人员,而非计算机专业人员。单片机技术门槛较低,是一种适合大众掌握的先进技术。学习单片机只需要具备基本的电子基础和初中以上文化程度,因而在我国许多本科院校、职业高中、大专学校、职业技术学校都设有 51 单片机的课程。

在单片机的学习中应特别强调的是理论与实践相结合的学习方法,然而实验器材的限制常常很难使每个学习者都得到充分的练习机会。近年来出现的单片机仿真设计软件 Proteus 正在克服这种限制。Proteus 不仅可以作为单片机应用的重要开发工具,也可以充当一种非常高效的辅助教学手段。用户只需在 PC 上即可获得接近全真环境下的单片机技能培训,为学习者提供了极大的便利。

为此,本书在编排上特别采用了将 Proteus 仿真设计方法与 51 单片机传统内容有机结合起来的做法,以使读者能真正掌握单片机的实用开发技术,并收到事半功倍的效果。

1.2 单片机学习的预备知识

与通用数字计算机一样,单片机也采用二进制数工作原理,学习者也需具备必要的数制转换和逻辑门关系等基础知识。为此,本节仅从单片机学习需要的角度出发,对二进制数和逻辑门关系进行简单介绍,以便为未具备这一条件的读者补充预备知识。如果读者已经掌握了这方面的知识,可跳过本节直接进行下节的学习。

1.2.1 数制及其转换

1. 数制

计算机中常用的表达整数的数制有以下几种。

(1)十进制 N_D

符号集:0,1,2,3,4,5,6,7,8,9;规则:逢十进一。

一般表达式为:

$$N_D = d_{n-1} \cdot 10^{n-1} + d_{n-2} \cdot 10^{n-2} + \dots + d_1 \cdot 10^1 + d_0 \cdot 10^0$$

其中,展开式中的10称为基数,各位加权数 d_x 为0~9。例如:

$$1234 = 1 \times 10^3 + 2 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 4 \times 10^0$$

(2)二进制 N_B

符号集:0,1;规则:逢二进一。二进制数的后缀为B;十进制数后缀为D,但十进制数可不带后缀。例如:

$$1101B = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0$$

二进制加权展开式中基数为2,各位加权数 b_x 为0,1,一般表达式为:

$$N_B = b_{n-1} \cdot 2^{n-1} + b_{n-2} \cdot 2^{n-2} + \dots + b_1 \cdot 2^1 + b_0 \cdot 2^0$$

(3)十六进制 N_H

符号集:0~9,A,B,C,D,E,F;规则:逢十六进一。例如:

$$DFC8H = 13 \times 16^3 + 15 \times 16^2 + 12 \times 16^1 + 8 \times 16^0$$

十六进制展开式中基数为16,各位加权数 h_x 为0~9,A~F,一般表达式为:

$$N_H = h_{n-1} \cdot 16^{n-1} + h_{n-2} \cdot 16^{n-2} + \dots + h_1 \cdot 16^1 + h_0 \cdot 16^0$$

2. 数制之间的转换

(1)二、十六进制数转换成十进制数

方法是按进制的表达式展开,然后按照十进制运算求和。例如:

$$1011B = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 11$$

$$DFC8H = 13 \times 16^3 + 15 \times 16^2 + 12 \times 16^1 + 8 \times 16^0 = 57288$$

(2)二进制数与十六进制数之间的转换

因为 $2^4 = 16$,所以从低位起,从右到左,每四位(最后一组不足时左边添0凑齐4位)二进制数对应一位十六进制数。例如:

$$3AF2H = \frac{0011}{3} \frac{1010}{A} \frac{1111}{F} \frac{0010}{2} = 11 \ 1010 \ 1111 \ 0010B$$

$$1111101B = \frac{0111}{7} \frac{1101}{D} = 7DH$$

因为二进制数与十六进制数之间的转换特别简单,且十六进制数书写时要简单得多,所以在教科书中及进行汇编语言编程时,都会用十六进制数来代替二进制数进行书写。

(3) 十进制整数转换成二、十六进制整数

转换规则:“除基取余”。十进制整数不断除以转换进制基数,直至商为0。每除一次取一个余数,从低位排向高位。例如:

39转换成二进制数

$$39 = 100111B$$

$$\begin{array}{r|l} 2|39 & 1 (b_0) \\ 2|19 & 1 (b_1) \\ 2|9 & 1 (b_2) \\ 2|4 & 0 (b_3) \\ 2|2 & 0 (b_4) \\ 2|1 & 1 (b_5) \\ & 0 \end{array}$$

208转换成十六进制数

$$208 = D0H = 0D0H \text{ (为了与字符区别,当最高位是字母时,常加一个“0”)}$$

$$\begin{array}{r|l} 16|208 & \text{余 } 0 \\ 16|13 & \text{余 } 13=D \\ & 0 \end{array}$$

1.2.2 有符号数的表示方法

数有正负之分,那么在计算机中是如何表示的呢?在常用的十进制数中,我们习惯于用正、负号加绝对值来表示数的大小,这样书写出来的数的形式代表了数的原值,其在计算机中称为真值,它包含以常规正、负号表示的数的符号,以及用十进制表示的数值。

但计算机所能表示的数或其他信息,都是用二进制数表达的,对正号和负号只能用“0”和“1”来表达。一般最高位为符号位,“0”表示正数,“1”表示负数。

所谓机器数,是指在计算机中使用的、带有符号位的二进制数,其位数通常为8的整数倍。例如:

真值 +123 → 机器数 0111 1011B

真值 -123 → 机器数 1111 1011B

有符号数:即机器数,最高位为符号位,“0”表示正数,“1”表示负数。

无符号数:机器数中最高位不作为符号位,而当成数值位。

有符号位有原码、反码和补码3种表示法:

①原码。原码就是机器码。8位原码数表示的范围为FFH~7FH(-127~+127)。原码数00H和80H的数值部分相同、符号位相反,它们分别为+0和-0。16位原码数表示的范围为FFFFH~7FFFH(-32767~+32767)。原码数0000H和8000H的数值部分相同、符号位相反,它们分别为+0和-0。

②反码。正数的反码与原码相同;负数的反码为:符号位不变,数值部分按位取反。例如,求8位反码机器数:

原码 0000 0100B → 反码 0111 1011B

③补码。正数的补码表示与原码相同;负数的补码为其反码加1,但原符号位不变。例如,求8位二进制数补码:

$$\begin{aligned}
 X &= +4 & [X]_{\text{补}} &= 0000\ 0100\text{B} \\
 X &= -4 & \text{原码为} & 1000\ 0100\text{B} \\
 & & \text{其反码为} & 1111\ 1011\text{B} \\
 & & [X]_{\text{补}} &= 1111\ 1100\text{B}
 \end{aligned}$$

负数 X 的补码也可以用“模”来计算：

$$[X]_{\text{补}} = \text{模} - |X|$$

模是计数系统的过量程回零值。如时钟以 12 为模，所以 4 点与 8 点互补；一位十进制数的模为 10，所以 3 和 7 互补。

8 位二进制的模为 $2^8 = 256$ ，因而 -4 ，即 1000 0100B 的补码为：

$$256 - 4 = 252 = 1111\ 1100\text{B} = \text{FCH}$$

同理， -4 的 16 位二进制的补码为：

$$[-4]_{\text{补}} = 10000\text{H} - 0004\text{H} = \text{FFFCH}$$

- 在原码中，零可以表示成 $+0(0000\ 0000\text{B})$ ，也可以表示成 $-0(1000\ 0000\text{B})$ 。
- 在反码中，零可以表示成 $+0(0000\ 0000\text{B})$ ，也可以表示成 $-0(1111\ 1111\text{B})$ 。
- 在补码中，由于补码的特殊规律，零只有一种表示方法。

$+0$ 的补码为 0000 0000B， -0 的原码为 1000 0000B，求反得 1111 1111B，加 1，得 1 0000 0000B，最高位产生了溢出。注意，按补码的定义，只有在求 -0 的补码这种情况下求反加 1 才产生溢出，所以，为符合算术运算规则，将 1000 0000B(80H) 的补码真值规定为 -128 。这样的定义在用补码把减法运算转换为加法运算中结果是完全正确的。

8 位补码的数值范围为 80H~7FH($-128 \sim +127$)，16 位补码的数值范围为 8000H~7FFFH($-32768 \sim +32767$)，且 80H 和 8000H 的真值分别是 $-128(-80\text{H})$ 和 $-32768(-8000\text{H})$ 。

当采用补码表示时，可以把减法运算转换为加法运算。例如：

$$123 - 125 = -2, \text{用补码计算: } 0111\ 1011\text{B} + 1000\ 0011\text{B} = 1111\ 1110\text{B}$$

$$123 - 128 = -5, \text{用补码计算: } 0111\ 1011\text{B} + 1000\ 0000\text{B} = 1111\ 1011\text{B}$$

因此在计算机中，有符号位一律用补码表示，这样可以简化计算机的硬件结构。

1.2.3 位、字节和字

- ① 位(bit)。二进制数中的一位，其值不是 1，就是 0。
 - ② 字节(Byte)。一个 8 位的二进制数为一个字节。字节是计算机数据的基本单位。
 - ③ 字(Word)。两个字节就是一个字。
- 另外，有时还会用到“半字节”，即 4 位二进制。

1.2.4 BCD 码

计算机内部使用的是二进制数，而在日常生活和工作中我们习惯的却是十进制数。怎样来解决这一矛盾呢？有两种方法可供选择。

一是采用“十转二”和“二转十”程序。输入十进制数后用“十转二”程序把其转换为二进制，在计算机内运算，输出时用“二转十”程序把二进制数转换为十进制数，以方便人们使用。

另一种方法是直接采用“二—十”进制，即 BCD 码(Binary Coded Decimal)，也即用二进制代码表示的十进制数。顾名思义，它既是逢十进一，又是一组二进制代码。用 4 位二进制代码

表示十进制的一位数,一个字节可以表示两个十进制数,其称为压缩的BCD码,如10000111表示十进制的87。也可以用一个字节表示一位十进制数,这种BCD码称为非压缩的BCD码,如00000111表示十进制的7。十进制与BCD码的对应关系如表1.1所示。

采用BCD码输出数据非常方便,被计算机广泛使用,如MCS-51系列单片机有一条指令DA就是用来调整十进制加法运算的。

表 1.1 BCD 码表

十进制数	压缩的 BCD 码		非压缩的 BCD 码	
	二进制表示	十六进制表示	二进制表示	十六进制表示
0	0000B	0H	0000 0000B	00H
1	0001B	1H	0000 0001B	01H
2	0010B	2H	0000 0010B	02H
3	0011B	3H	0000 0011B	03H
4	0100B	4H	0000 0100B	04H
5	0101B	5H	0000 0101B	05H
6	0110B	6H	0000 0110B	06H
7	0111B	7H	0000 0111B	07H
8	1000B	8H	0000 1000B	08H
9	1001B	9H	0000 1001B	09H
28	0010 1000B	28H	0000 0010 0000 1000B	0208H

1.2.5 ASCII 码

由于计算机中使用的是二进制数,因此计算机中使用的字母、字符也要用特定的二进制表示。目前普遍采用的是ASCII码(American Standard Code for Information Interchange)。它采用7位二进制编码表示128个字符,其中包括数码0~9及英文字母等可打印的字符,如表1.2所示。在计算机中一个字节可以表示一个英文字母。由于单个的汉字太多,因此要用两个字节才能表示一个汉字,目前也有国际标准的汉字计算机编码表——汉码表。

如从表1.2中可以查到“6”的ASCII码为“36H”;“R”的ASCII码为“52H”。

表 1.2 ASCII 码表

	列	0	1	2	3	4	5	6	7
行	位 654 3210	000	001	010	011	100	101	110	111
0	0000	NUL	DLE	SPACE	0	@	P	,	p
1	0001	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
2	0010	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
3	0011	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
4	0100	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t
5	0101	END	NAK	%	5	E	U	e	u
6	0110	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
7	0111	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
8	1000	BS	CAN	(8	H	X	h	x