



普通高等教育“十三五”规划教材
电子信息科学与工程类专业规划教材

单片机原理及应用 (C51语言版)

◎ 林立 张俊亮 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>



• 课程网站 •

电子信息科学与工程类专业规划教材

单片机原理及应用

(C51 语言版)

林立 张俊亮 编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书作为《单片机原理及应用——基于 Proteus 和 Keil C》的姊妹篇，在保持原教材结构和风格的基础上，取消了其中的汇编语言内容，将节省的空间用于加强 C51 语言内容。本书在 C51 内容编排上做了较大改进：在集中介绍了执行语句、变量、指针、数组和函数等 C51 基本内容之后，安排了 LED 控制、独立开关检测、行列式键盘扫描、数码管静态和动态显示等与单片机 I/O 口相关的 C51 应用内容，以此缩短编程语言与单片机应用的教学时间差。中断函数及片外 RAM 访问等与单片机硬件相关的 C51 内容则穿插到后续原理章节里介绍。采用这种集中与分散相结合，理论与应用相结合的方案，有望促使读者更好地掌握 C51 与单片机内容，为今后的工程应用打下坚实基础。

为方便读者学习，本书每章都有小结和习题，书末附有与教学进度相对应的实验指导及相关阅读材料，还配有相关课程网站（www.51mcu.cn/C51/）。

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：C51 语言版 / 林立，张俊亮编著. —北京：电子工业出版社，2018.5
电子信息科学与工程类专业规划教材

ISBN 978-7-121-33900-4

I. ①单… II. ①林… ②张… III. ①单片微型计算机—C 语言—程序设计—高等学校—教材 IV. ①TP368.1
②TP312.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 056181 号

策划编辑：凌 毅

责任编辑：凌 毅

印 刷：三河市鑫金马印装有限公司

装 订：三河市鑫金马印装有限公司

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：21.25 字数：572 千字

版 次：2018 年 5 月第 1 版

印 次：2018 年 5 月第 1 次印刷

定 价：49.80 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, 88258888。

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。

本书咨询联系方式：(010) 88254528, lingyi@phei.com.cn。

前 言

“单片机原理及应用”是工科院校普遍开设的一门公共技术基础课，旨在通过对 MCS-51 单片机的学习，使读者掌握单片机软硬件系统的工作原理以及单片机初级应用系统的开发技能，为以后从事高性能单片机技术应用奠定理论和实践基础。

作者长期从事单片机的教学与科研，曾出版过《单片机原理及应用——基于 Proteus 和 Keil C》教材。该教材进行了两项教学改革：一是将 C51 定位为单片机基本语言，以能熟练编程、灵活应用为教学目标，而汇编语言只做一般介绍，以能读懂源程序为教学目标；二是将单片机仿真软件 Proteus 和 Keil 的用法引入教材，通过实例仿真演示和仿真实验练习，使单片机内容更加丰富生动，具有改善教与学的双向效果。该教材发行后得到了同行与读者认可，入选了“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材，获全国电子信息类优秀教材一等奖，并成为单片机类畅销教科书。

不过实践也表明，该教材还是存在一定的局限性。为了兼顾汇编和 C51 编程语言，教材中两种语言的内容都被压缩很多。由于 C51 教学起点高，要求读者具有 C 语言基础，然而从许多学校反馈的信息来看，学生中缺乏 C 语言基础或 C 语言已淡忘生疏的情况比较普遍。为保证 C51 教学效果，任课教师常常不得已采取了取消汇编语言、补充 C 语言基础知识的做法。

鉴于 C51 已兼有高级语言和低级语言的特点，在教材中取消汇编语言后，对单片机初学者的影响应该不大。而全面加强 C51，为缺少 C 语言基础的读者提供一个基于 C51 编程的单片机教材，也不失为一种合理的考虑。这就是作者编写这本《单片机原理及应用（C51 语言版）》的初衷。

作为《单片机原理及应用——基于 Proteus 和 Keil C》的姊妹篇，本书在保持原教材结构和风格的基础上，取消了其中的汇编语言内容，将节省的教学时间用于加强 C51 内容。具体做法是：将执行语句、变量、指针、数组和函数等内容作为 C51 基本知识集中介绍，中断及端口扩展等与硬件原理密切相关的 C51 内容则分散到后续章节里介绍。紧随 C51 基本知识之后，安排了 LED 控制、独立开关检测、行列式键盘扫描、数码管静态和动态显示等单片机 I/O 口应用的 C51 编程实例，以此缩短编程语言与单片机应用的教学时间差。此外，为使读者能掌握新版编译软件的使用方法，书中的 C51 编译软件版本也由先前的 μ Vision3 升级为 μ Vision5。采用上述编写思路形成的这本教材，希望能对读者掌握 C51 内容、加深对单片机原理及应用的理解有更大的帮助，为今后的工程应用打下坚实基础。

需要说明的是，本书的教学目标之一是解决单片机的 C51 编程语言问题。由于不是全面介绍 C51 语言的专著，因而在内容选择上仅考虑了单片机编程所需的基本知识，有关格式输入/输出、文件操作、结构与共用体等不太常用的 C51 内容并未选入其中。

本书配套课程网站 (<http://www.51mcu.cn/C51/>)，可为读者提供多种立体化教学资料，包括 PPT 讲义、仿真实例课件、阅读材料、实验指南、教学小结、仿真视频、习题及答案、单片机学习软件等。网站采用电脑版和手机版双套方案，读者只需使用上述单一域名，系统就能区分出上网设备并自动切换到相应版本的网页，以获得最佳浏览效果。

本书由林立和张俊亮共同编写完成，汪洋和林一树承担了全书的习题设计与解答工作，田堃和林泽群承担了教材配套网站的设计开发，李杨芳负责全书仿真实例的更新与校核，作者谨向他

们表示衷心的感谢。本书出版过程中得到了电子工业出版社的大力支持和帮助，特别是高等教育分社的凌毅编辑做了大量细致的工作，在此谨致以诚挚的谢意。

本教材一定还有许多不妥之处，书中漏误在所难免，殷切地期望读者给予批评指正，联系邮箱 cmee0@163.com。

作者

2018年3月

目 录

第 1 章 单片机基础知识概述	1	本章小结	36
1.1 单片机概述	1	思考与练习题 2	36
1.1.1 单片机及其发展概况	1	第 3 章 单片机的 C51 基础知识	39
1.1.2 单片机的特点和应用	2	3.1 C51 语言概述	39
1.1.3 单片机的发展趋势	3	3.2 Keil 软件开发工具	40
1.1.4 MCS-51 单片机的学习	3	3.2.1 μ Vision5 的软件界面	41
1.2 单片机学习的预备知识	4	3.2.2 μ Vision5 的使用方法	41
1.2.1 数制及其转换	4	3.3 C51 的基本执行语句	45
1.2.2 有符号数的表示方法	5	3.3.1 表达式语句	46
1.2.3 位、字节和字	6	3.3.2 选择语句	49
1.2.4 BCD 码	7	3.3.3 循环语句	54
1.2.5 ASCII 码	7	3.3.4 注释语句	59
1.2.6 基本逻辑门电路	8	3.4 C51 的变量	60
1.3 Proteus 应用简介	9	3.4.1 变量概述	60
1.3.1 ISIS 模块应用举例	9	3.4.2 变量名	60
1.3.2 ARES 模块应用举例	13	3.4.3 数据类型	61
本章小结	16	3.4.4 存储类型	66
思考与练习题 1	17	3.4.5 存储种类	68
第 2 章 MCS-51 单片机的结构及原理	19	3.5 C51 的指针	70
2.1 MCS-51 单片机的结构	19	3.6 C51 的数组	72
2.1.1 MCS-51 单片机的内部结构	19	3.6.1 一维数组的定义	72
2.1.2 MCS-51 外部引脚及功能	21	3.6.2 一维数组的使用	73
2.2 MCS-51 的存储器结构	23	3.6.3 字符数组	76
2.2.1 存储器划分方法	23	3.6.4 二维数组	77
2.2.2 程序存储器	24	3.7 C51 的函数	78
2.2.3 数据存储器	25	3.7.1 函数的基本概念	78
2.3 单片机的复位、时钟与时序	28	3.7.2 函数的定义	79
2.3.1 复位与复位电路	28	3.7.3 函数的调用	80
2.3.2 时钟电路	29	本章小结	82
2.3.3 单片机时序	29	思考与练习题 3	83
2.4 并行 I/O 口	31	第 4 章 单片机 I/O 口方式的应用	85
2.4.1 P1 口	33	4.1 C51 联合仿真方法	85
2.4.2 P3 口	34	4.2 I/O 端口的简单应用	89
2.4.3 P0 口	34	4.2.1 发光二极管与应用编程	89
2.4.4 P2 口	36	4.2.2 数码管静态显示原理与编程	95

4.3 I/O 端口的进阶实践	101	7.4 串行工作方式 1 及其应用	165
4.3.1 数码管动态显示原理 与编程	101	7.5 串行工作方式 2 及其应用	168
4.3.2 行列式键盘原理与编程	103	7.6 串行工作方式 3 及其应用	171
本章小结	109	本章小结	177
思考与练习题 4	110	思考与练习题 7	177
第 5 章 单片机的中断系统	113	第 8 章 单片机接口技术	180
5.1 中断的概念	113	8.1 单片机的系统总线	180
5.2 中断控制系统	116	8.1.1 三总线结构	180
5.2.1 中断系统的结构	116	8.1.2 地址锁存原理及实现	181
5.2.2 中断控制	117	8.2 简单并行 I/O 口扩展	183
5.3 中断处理过程	121	8.2.1 访问扩展端口的软件方法	183
5.4 中断的编程和应用举例	123	8.2.2 简单并行输出接口的扩展	184
5.4.1 中断程序设计举例	123	8.2.3 简单并行输入接口的扩展	187
5.4.2 扩充外部中断源	130	8.3 可编程并行 I/O 口扩展	189
本章小结	132	8.3.1 8255A 的内部结构、引脚 及地址	189
思考与练习题 5	132	8.3.2 8255A 的控制字	191
第 6 章 单片机的定时/计数器	135	8.4 D/A 转换与 DAC0832 应用	194
6.1 定时/计数器的结构与 工作原理	135	8.4.1 DAC0832 的工作原理	195
6.1.1 定时/计数器的基本原理	135	8.4.2 DAC0832 与单片机的接口 及编程	196
6.1.2 定时/计数器的结构	136	8.5 A/D 转换与 ADC0809 应用	201
6.2 定时/计数器的控制	137	8.5.1 逐次逼近式模数转换器的 工作原理	201
6.2.1 TMOD 寄存器	137	8.5.2 ADC0809 与单片机的接口 及编程	202
6.2.2 TCON 寄存器	138	8.6 开关量功率接口技术	205
6.3 定时/计数器的工作方式	139	8.6.1 开关量功率驱动接口	205
6.3.1 方式 1	139	8.6.2 开关量功率驱动接口 应用举例	208
6.3.2 方式 2	142	本章小结	212
6.3.3 方式 0	146	思考与练习题 8	213
6.3.4 方式 3	146	第 9 章 单片机应用系统的设计与开发	216
6.4 定时/计数器的编程和应用	147	9.1 单片机系统的设计开发过程	216
本章小结	155	9.1.1 单片机典型应用系统	216
思考与练习题 6	156	9.1.2 单片机应用系统的开发 过程	217
第 7 章 单片机的串行口及应用	158	9.2 单片机系统的可靠性技术	222
7.1 串行通信概述	158	9.2.1 硬件抗干扰技术概述	222
7.2 MCS-51 的串行口控制器	160	9.2.2 软件抗干扰技术概述	223
7.2.1 串行口内部结构	160		
7.2.2 串行口控制寄存器	161		
7.3 串行工作方式 0 及其应用	163		

9.3 单片机系统设计开发应用		实验 4 指示灯/数码管的中断控制	268
举例——智能仪器	224	实验 5 电子秒表显示器	269
9.3.1 功能概述	224	实验 6 双机通信及 PCB 设计	271
9.3.2 硬件电路设计	225	实验 7 直流数字电压表设计	273
9.3.3 软件系统设计	225	实验 8 步进电机控制设计	274
9.3.4 仿真开发过程	229	附录 B 阅读材料	276
9.4 单片机串行扩展单元介绍	236	【阅读材料 1】ISIS 模块的电路绘图与仿真运行方法	276
9.4.1 串行 A/D 转换芯片 MAX124 及应用	236	【阅读材料 2】在 μ Vision5 中创建 C51 程序的方法	284
9.4.2 串行 D/A 转换芯片 LTC145X 及应用	240	【阅读材料 3】C51 程序调试方法	292
9.4.3 串行 E ² PROM 存储器 AT24CXX 及应用	242	【阅读材料 4】 μ Vision5 与 ISIS 的联合仿真	298
9.4.4 字符型液晶显示模块 LM1602 及应用	248	【阅读材料 5】基于 ARES 模块的 PCB 设计方法	302
9.4.5 串行日历年时钟芯片 DS1302 及应用	252	【阅读材料 6】ISIS 中的虚拟信号发生器	314
本章小结	260	【阅读材料 7】ISIS 中的虚拟仪器	318
思考与练习题 9	260	【阅读材料 8】步进电机控制方法	325
附录 A 实验指导	264	附录 C 常用的 C51 标准库函数	327
实验 1 计数显示器	264	参考文献	331
实验 2 指示灯/开关控制器	265		
实验 3 指示灯循环控制	267		

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

单片机是在一块半导体硅片上集成了计算机基本功能部件的微型计算机。随着大规模集成电路技术的发展,可以将中央处理器(CPU)、数据存储器(RAM)、程序存储器(ROM)、定时/计数器及输入/输出(I/O)接口电路等主要计算机部件,集成在一块电路芯片上。虽然只是一个芯片,但从组成和功能上,单片机都已具有了微机系统的基本含义。

单片机自从问世以来,性能都在不断提高和完善,它不仅能够满足很多应用场合的需要,而且具有集成度高、功能强、速度快、体积小、使用方便、性能可靠、价格低廉等特点。因此,在工业控制、智能仪器仪表、数据采集和处理、通信、智能接口、商业营销等领域得到广泛应用,并且正在逐步取代现有的多片微机应用系统。

2. 单片机的发展

单片机诞生于1971年,大体经历了SCM、MCU和SoC三大阶段。

SCM(Single Chip Microcomputer)即单片微型计算机阶段,其主要的技术发展方向是:寻求最佳单片形态的嵌入式系统体系结构。在开创嵌入式系统的发展道路上,Intel公司功不可没,奠定了SCM与通用微机完全不同的发展道路。这一阶段最有代表性的产品是Intel公司的8位MCS-51系列单片机。

MCU(Micro Controller Unit)即微控制器阶段,其主要的技术发展方向是:不断推进在嵌入式系统中集成各种外围电路与接口电路的能力,以满足智能化控制的需求。在此阶段中,Philips公司以其在嵌入式应用方面的强大实力,推出了基于MCS-51内核的微控制器系列产品,使单片机进入MCU阶段。

SoC(System on Chip)即片上系统(或系统级芯片)阶段,其主要的技术发展方向是:寻求应用系统在芯片上的最大化解决方案。作为产品,SoC是一个有专用目标的集成电路,包含完整系统并有嵌入软件的全部内容。作为技术,SoC是用以实现从确定系统功能开始,到软/硬件划分,并完成设计的整个过程。

随着单片机从早期的 4 位发展到 8 位、16 位直至 32 位，单片机的功能在不断增强，嵌入式应用能力也在不断提高。然而，由于复杂系统的功能大都可以通过简单嵌入式系统组合实现，而 8 位单片机以其价格低廉性能适中的特点，已可满足简单嵌入式系统的要求。这表明，嵌入式应用领域中大量需要的仍是 8 位单片机，在当前及以后的相当一段时间内 8 位单片机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，如有必要再加上一些外围器件，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 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。

② 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，满足工业控制的要求。

③ 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。

④ 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。

⑤ 具有良好的性价比。

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价比等特点，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，提高其性价比。

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。软件技术的飞速发展和各种软件系列产品的大量涌现,极大地简化了硬件电路。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

单片机总的发展趋势是多功能、高速度、低功耗、高性价比、强 I/O 功能及结构兼容。

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,市场上有一半以上的单片机产品已 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 低电压下工作,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,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单片机原理及应用的课程。

由于 MCS-51 单片机技术成熟,主流微控制器产品大都与 51 机保持兼容,即具有 51 内核的 8 位单片机仍然是目前的主流机型。掌握 MCS-51 单片机的基本原理和编程方法,对今后使用高性能微控制器具有重要入门价值,因而本书仍以 MCS-51 单片机为基础进行内容介绍。

在单片机的学习中还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,本书在内容安排上采用了将 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。

作为《单片机原理及应用——基于 Proteus 和 Keil C》的姊妹篇,本书在保持原教材结构和风格的基础上,取消了其中的汇编语言内容,将节省的空间用于加强 C51 语言内容。本书在 C51 内容编排上做了较大改进:在集中介绍了执行语句、变量、指针、数组和函数等 C51 基本内容之后,安排了 LED 控制、独立开关检测、行列式键盘扫描、数码管静态和动态显示等与单片机 I/O

口相关的 C51 应用内容, 以此缩短编程语言与单片机应用的教学时间差。中断函数及片外 RAM 访问等与单片机硬件相关的 C51 内容, 则穿插到后续原理章节里介绍。采用这种集中与分散相结合、理论与应用相结合的方案, 有望促使读者更好地掌握 C51 与单片机内容, 为今后的工程应用打下坚实基础。

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) 十进制数, N_D

数集: 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9;

规则: 逢十进一;

表示: 十进制数的后缀为 D 且可省略;

计算: 十进制数可用加权展开式表示。例如:

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

其中, 10 为基数, 10 的幂次方称为十进制数的加权数, 其一般表达式为

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

(2) 二进制数, N_B

数集: 0、1;

规则: 逢二进一;

表示: 二进制数的后缀为 B 且不可省略;

计算: 二进制数可用加权展开式表示。例如:

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

其中, 2 为基数, 2 的幂次方称为二进制数的加权数, 其一般表达式为

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

(3) 十六进制数, N_H

数集: 0~9、A~F;

规则: 逢十六进一;

表示: 十六进制数的后缀为 H 且不可省略;

计算: 十六进制数可用加权展开式表示。例如:

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

其中, 16 为基数, 16 的幂次方称为十六进制数的加权数, 其一般表达式为

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

注意: C51 编程语言中是用前缀 0x 表示十六进制数的 (习惯上用小写字母)。例如, 普通十

六进制数 DFC8H, 在 C51 语言中是用 0xdfc8 表示的。

2. 数制之间的转换

(1) 二、十六进制数转换成十进制数

方法是按进制的加权展开式展开, 然后按照十进制数运算求和。例如:

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

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

(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 4 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:

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

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

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

$$39 = 100111\text{B}$$

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	0

208 转换成十六进制数

$$208 = \text{D0H}$$

16|208	余 0
16|13	余 13=D
0	

1.2.2 有符号数的表示方法

实用数据有正数和负数之分, 在计算机里是用一位二进制数来区分的, 即以 0 代表符号“+”, 以 1 代表符号“-”。通常这位数放在二进制数里的最高位, 称为符号位, 符号位后面为数值部分。这种二进制形式的数称为有符号数。

有符号数对应的真实数值称为真值。因为符号位占了一位, 故它的形式值不一定等于其真值。例如, 有符号数 0111 1011B (形式值为 123) 的真值为 +123, 但有符号数 1111 1011B (形式值为 251) 的真值却为 -123。

有符号数具有原码、反码和补码 3 种表示法。

1. 原码

原码是有符号数的原始表示法, 即最高位为符号位, “0”表示正, “1”表示负, 其余位为数值部分。8 位二进制原码的表示范围为 1111 1111B ~ 0111 1111B (-127 ~ +127)。其中, 原码 0000 0000B 与 1000 0000B 的数值部分相同但符号位相反, 它们分别表示 +0 和 -0。

2. 反码

正数的反码与其原码相同；负数的反码为：符号位不变，原码的数值部分各位取反。例如，原码 0000 0100B 的反码仍为 0000 0100B，而原码 1000 0100B 的反码为 1111 1011B。+0 和 -0 的反码分别为 0000 0000B 和 1111 1111B。

3. 补码

正数的补码与其原码相同；负数的补码为：符号位不变，原码的数值部分各位取反，末位加 1（即反码加 1）。例如，原码 0000 0100B 的补码仍为 0000 0100B，而原码 1000 0100B 的补码为 1111 1100B。

负数的补码还可通过“模”计算得到，即负数 X 的补码等于模与 X 绝对值的差值：

$$[X]_{\text{补}} = \text{模} - |X|$$

其中，“模”是指一个计量系统的计数范围，是计量器产生“溢出”的量。例如，时钟的计量范围是 0~11，模为 12，所以 4 点与 8 点互为补码关系。同理，8 位二进制数的模为 $2^8=256$ ，因而 -4 的补码为

$$[-4]_{\text{补}} = 256 - 4 = 252 = 1111\ 1100\text{B}$$

根据补码计算规则，+0 和 -0 的补码都为 0000 0000B。为了充分利用计算资源，人为规定：+0 的补码代表 0，-0 的补码代表 -128。故 8 位二进制补码的表示范围是 1000 0000B~0111 1111B (-128~+127)。

总之，正数的原码、反码和补码都是相同的，而负数的原码、反码和补码各有不同。

当有符号数用补码表示时，可以把减法运算转换为加法运算。例如：

$$123 - 125 = [123]_{\text{补}} + [-125]_{\text{补}}$$

用补码计算：01111011B + 10000011B = 11111110B \rightarrow 10000010B (-2)

补码运算的结果仍为补码，故结果还需再求补才能得到原码结果。

由于减法可转为加法运算，CPU 中便无须设置硬件减法器，从而可简化其硬件结构。

若上述二进制数中的最高位不是作为符号位，而是作为数值位，则称其为无符号数。8 位无符号二进制数的表示范围为 0000 0000B~1111 1111B (0~255)。

1.2.3 位、字节和字

1. 位 (bit)

音译为“比特”，表示二进制数中的 1 位，是计算机内部数据存储的最小单位。1 个二进制位只可以表示 0 和 1 两种状态。

2. 字节 (Byte)

音译为“拜特”，1 字节由 8 个二进制位构成 (1Byte=8bit)。字节是计算机数据处理的基本单位，使用时需要注意：

① 可以用大写字母 B 作为汉字“字节”的代用词，例如，“256 字节”可以表示为“256B”。但要注意不可与二进制数的表示相混淆。例如，不应将二进制数“1010B”理解为“1010 字节”。

② 千字节的表示为“KB”，1KB=1024B。例如，64KB=1024B×64=65536B。

③ 有时还会用到半字节 (nibble) 概念，半字节是 4 位一组的数据类型，它由 4 个二进制位构成。例如，在 BCD 码中常用半字节表示 1 位十进制数。

3. 字 (Word)

计算机一次存取、加工和传送的数据长度称为字，不同计算机的字的长度是不同的。例如，80286 微机的字由 2 字节组成，字长为 16。80486 微机的字由 4 字节组成，字长为 32。MCS-51 单片机的字由双字节组成，字长为 16。

1.2.4 BCD 码

计算机中的数据处理都是以二进制数运算法则进行的。但由于二进制数对操作人员来说不直观，易出错，因此在计算机的输入、输出环节，最好能以十进制数形式进行操作。由于十进制数共有 0~9 十个数码，因此，至少需要 4 位二进制码来表示 1 位十进制数。这种以二进制数表示的十进制数称为 BCD 码 (Binary-Coded Decimal)，亦称“二进制十进制数”或“二/十进制代码”。

由于 4 位二进制码共有 $2^4=16$ 种组合关系，如果任选 10 种来表示 10 个十进制数码，则编码方案将有数千种之多。目前最常用的是按 8421 规则组合的 BCD 码 (见表 1.1)。

可以看出，8421BCD 码和 4 位自然二进制数相似，由高到低各位的权值分别为 8、4、2、1，但它只选用了 4 位二进制码中的前 10 组代码，即用 0000B~1001B 分别代表它所对应的十进制数，余下的 6 组代码不用。

由于用 4 位二进制代码表示十进制的 1 位数，故 1 字节可以表示 2 个十进制数，这种 BCD 码称为压缩的 BCD 码，如 1000 0111 表示十进制数的 87。也可以用 1 字节只表示 1 位十进制数，这种 BCD 码称为非压缩的 BCD 码，如 0000 0111 表示十进制数的 7。

表 1.1 8421BCD 码

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

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数表示。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。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

续表

	列	0	1	2	3	4	5	6	7
行	位 654 3210	000	001	010	011	100	101	110	111
8	1000	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
9	1001	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
A	1010	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
B	1011	VT	FSC	+	;	K	[	k	{
C	1100	FF	FS	,	<	L	\	l	|
D	1101	CR	GS	-	=	M	]	m	}
E	1110	SO	RS	.	>	N	^	n	~
F	1111	SI	US	/	?	O	_	o	DEL

目前也有国际标准的汉字计算机编码表——汉码表，但由于单个的汉字太多，因此要用两字节才能表示一个汉字。


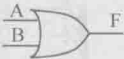


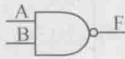
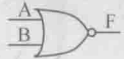
1.2.6 基本逻辑门电路

计算机是由若干逻辑门电路组成的，所以计算机对于人们给出的二进制数识别、运算要靠基本逻辑门电路来实现。在逻辑门电路中，输入和输出只有两种状态：高电平和低电平。我们用 1 和 0 分别来表示逻辑门电路中的高、低电平。

常用基本逻辑门电路的有关信息汇总于表 1.3 中。

表 1.3 基本逻辑门电路的有关信息

名称	与 门	或 门	非 门	异 或 门	与 非 门	或 非 门																																																																																	
逻辑功能	逻辑乘运算的多端输入、单端输出	逻辑加运算的多端输入、单端输出	逻辑非运算的单端输入、单端输出	逻辑异或运算多端输入、单端输出	逻辑与非运算多端输入、单端输出	逻辑或非运算的多端输入、单端输出																																																																																	
逻辑表达式	$A \cdot B = F$	$A + B = F$	$\bar{A} = F$	$A \oplus B = F$	$\overline{A \cdot B} = F$	$\overline{A + B} = F$																																																																																	
真值表	<table border="1"> <tr><td>A</td><td>B</td><td>F</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	A	B	F	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	<table border="1"> <tr><td>A</td><td>B</td><td>F</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	A	B	F	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	<table border="1"> <tr><td>A</td><td>F</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	A	F	0	1	1	0	<table border="1"> <tr><td>A</td><td>B</td><td>F</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	A	B	F	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	<table border="1"> <tr><td>A</td><td>B</td><td>F</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	A	B	F	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	<table border="1"> <tr><td>A</td><td>B</td><td>F</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	A	B	F	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0
A	B	F																																																																																					
0	0	0																																																																																					
0	1	0																																																																																					
1	0	0																																																																																					
1	1	1																																																																																					
A	B	F																																																																																					
0	0	0																																																																																					
0	1	1																																																																																					
1	0	1																																																																																					
1	1	1																																																																																					
A	F																																																																																						
0	1																																																																																						
1	0																																																																																						
A	B	F																																																																																					
0	0	0																																																																																					
0	1	1																																																																																					
1	0	1																																																																																					
1	1	0																																																																																					
A	B	F																																																																																					
0	0	1																																																																																					
0	1	1																																																																																					
1	0	1																																																																																					
1	1	0																																																																																					
A	B	F																																																																																					
0	0	1																																																																																					
0	1	0																																																																																					
1	0	0																																																																																					
1	1	0																																																																																					
口诀	全 1 为 1 其余为 0	全 0 为 0 其余为 1	单端运算 永远取反	相同为 0 相异为 1	全 1 为 0 其余为 1	全 0 为 1 其余为 0																																																																																	
国标逻辑符号																																																																																							

名称	与 门	或 门	非 门	异 或 门	与 非 门	或 非 门
国际 流行 符号						
常用 门电 路	74LS08 74LS11	74LS32	74LS06 74LS07	74LS86 74LS136	74LS00 74LS10	74LS02 74LS27

1.3 Proteus 应用简介

Proteus 是英国 Labcenter 公司开发的电路及单片机系统设计与仿真软件。Proteus 可以实现数字电路、模拟电路及微控制器系统与外设的混合电路系统的电路仿真、软件仿真、系统协同仿真和 PCB 设计等功能。Proteus 是目前唯一能对多种微处理器进行实时仿真、调试与测试的 EDA 工具，真正实现了在没有目标原型时就可对系统进行调试、测试和验证。Proteus 软件大大提高了企业的产品开发效率，降低了开发风险。由于 Proteus 软件逼真的协同仿真功能，它也特别适合作为配合单片机课堂教学和实验的学习工具。

Proteus 软件提供了 30 多个元器件库、7000 余种元器件。元器件涉及电阻、电容、二极管、三极管、变压器、继电器、各种放大器、各种激励源、各种微控制器、各种门电路和各种终端等。Proteus 软件中还提供有交直流电压表、逻辑分析仪、示波器、定时/计数器和信号发生器等虚拟测试信号工具。

Proteus 主要由两个设计平台组成：

① ISIS (Intelligent Schematic Input System) ——原理图设计与仿真平台，它用于电路原理图的设计以及交互式仿真；

② ARES (Advanced Routing and Editing Software) ——高级布线和编辑软件平台，它用于印制电路板的设计，并产生光绘输出文件。

本节通过一个 MCS-51 单片机具体应用实例介绍在 Proteus 平台上进行设计与开发的主要过程，该软件的具体用法在本书附录 B 中详细介绍。

1.3.1 ISIS 模块应用举例

图 1.1 是一个基于 80C51 单片机的计数显示器电路原理图，其功能是可对按键 BUT 的按压次数进行计数，并将结果显示在两位数码显示管上。下面介绍利用 ISIS 进行电路设计与程序调试的主要步骤。