

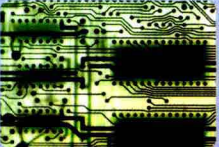
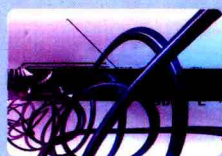


普通高等教育“十二五”创新型规划教材
高等教育课程改革项目研究成果

SCM Principles and Applications

单片机原理与应用

◆ 主编 刘秀峰 游雨云



单片机原理与应用

主 编 刘秀峰 游雨云
副主编 陈 巍

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

单片机原理与应用/刘秀峰, 游雨云主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2011. 6

ISBN 978 - 7 - 5640 - 4811 - 2

I. ①单… II. ①刘… ②游… III. ①单片微型计算机-高等学校-教材 IV. ①TP368. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 136833 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775 (办公室) 68944990 (批销中心) 68911084 (读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京市兆成印刷有限责任公司

开 本 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张 / 13.25

字 数 / 248 千字

版 次 / 2011 年 6 月第 1 版 2011 年 6 月第 1 次印刷 责任编辑 / 陈莉华

印 数 / 1 ~ 1 500 册 责任校对 / 周瑞红

定 价 / 32.00 元 责任印制 / 王美丽



图书出现印装质量问题, 本社负责调换

前言

Preface

从单片机的诞生,到单片机控制系统的广泛应用,不过短短三四十年的时间,它的发展是非常迅速的。目前,单片机已经广泛地应用于航天航空技术、工业测控、电子仪器仪表、智能家用电器、社会公共服务系统等领域。单片机因其强大及灵活的控制能力,具有广阔的发展前景,已经成为电子类、自动控制类、机电类专业的一门必修课程,是学生提高专业技能水平的一门课程。

单片机的种类繁多,性能各有差异,MCS-51系列单片机以其高可靠性、易学易用、相关资源丰富等特性拥有较多的用户,现在已有许多性价比高的51兼容型单片机。单片机的种类虽多,但内部结构和基本工作原理类似,学好一种单片机技术,可以较快地学习和应用其他单片机系统。本书将以MCS-51系列单片机为例,介绍了单片机内部结构、工作原理、指令系统和应用系统的设计。

本书由刘秀峰、游雨云担任主编,陈巍担任副主编。本书的参编人员均为工作在教学一线的专业教师,都任教过单片机课程。编写过程中,参考了相关的单片机教材和专业书籍,查阅了大量的相关资料,并结合编者的教学实践经验,在内容上力求做到循序渐进,言简意赅,注重创新实践能力的培养,将编程过程中常见的问题融入到课程实例中。

本书共分为9章,其中第1~4章为基础部分,主要讲述单片机的基本概念、单片机的内部结构、工作原理、单片机的指令系统与单片机汇编语言程序设计。重点在第4章,通过三十多个例题,详细地讲述了单片机汇编语言程序设计的格式、方法与技巧,列举了许多实用的参考子程序。第5~8章为单片机的扩展与接口部分,主要讲解单片机的定时/计数系统、存储器的扩展技术、串行口技术,并行I/O口的扩展、人机接口技术、模数/数模转换技术,这部分是单片机应用系统设计的重点。第9章介绍了单片机应用系统的设计步骤与方法,系统地讲述了如何设计一个完整的单片机系统,最后通过一个实例,简易数字电压表具体阐述单片机应用系统的设计方案。

由于编者的水平有限,书中难免有错误和纰漏之处,敬请广大读者批评指正。

目录

Contents

第1章 单片机基础知识	1
1.1 单片机简介	1
1.1.1 单片机的基本概念	1
1.1.2 单片机的发展历史	2
1.1.3 单片机的发展趋势	2
1.1.4 单片机的应用领域	3
1.2 单片机学习中常用的术语	4
1.2.1 位 (bit)	4
1.2.2 字节 (Byte)	5
1.2.3 字 (word) 和字长	5
1.2.4 单片机中的存储器	5
1.2.5 总线 (Bus)	6
1.2.6 输入/输出接口 (I/O 接口)	6
1.3 数制与码制	7
1.3.1 数制	7
1.3.2 码制	7
1.4 MCS-51 单片机简介	9
思考与练习题	9
第2章 单片机的内部结构	11
2.1 MCS-51 单片机系统硬件结构	11
2.2 MCS-51 单片机内部寄存器及其功能	14
2.3 MCS-51 单片机存储器结构	17
2.3.1 程序存储器 ROM 单元结构	17
2.3.2 数据存储器 RAM 单元结构	17
2.4 MCS-51 单片机工作原理	18
2.4.1 MCS-51 单片机的时钟与时序	18



2.4.2 MCS-51 单片机工作方式	19
思考与练习题	20
第3章 MCS-51 系列单片机指令系统	22
3.1 MCS-51 单片机指令系统简介	22
3.1.1 MCS-51 单片机寻址方式	22
3.1.2 MCS-51 指令中常用的符号	23
3.2 MCS-51 单片机指令系统	23
3.2.1 数据传送类指令 (共 29 条)	24
3.2.2 算术运算类指令 (共 24 条)	26
3.2.3 逻辑运算类指令 (共 24 条)	29
3.2.4 控制转移类指令 (共 17 条)	30
3.2.5 位操作类指令 (共 17 条)	32
思考与练习题	33
第4章 汇编语言程序设计	39
4.1 汇编语言简介	39
4.1.1 汇编语言格式	39
4.1.2 汇编伪指令	39
4.2 汇编语言程序设计简介	42
4.3 简单和分支程序设计	43
4.3.1 简单程序设计	43
4.3.2 分支程序设计	44
4.3.3 散转程序设计	47
4.4 循环和查表程序设计	48
4.4.1 循环程序设计	48
4.4.2 查表程序设计	56
4.5 子程序设计	59
4.6 运算程序设计	63
4.6.1 加减运算程序设计	63
4.6.2 乘除运算程序设计	67
4.7 代码转换程序设计	73
思考与练习题	77
第5章 中断系统与定时计数器	80
5.1 单片机中断基本概念	80
5.1.1 单片机中断的几个基本概念	80

5.1.2 中断的主要功能	81
5.2 单片机中断系统简介	81
5.2.1 中断源及内部结构	81
5.2.2 中断控制寄存器	82
5.2.3 中断响应原理	84
5.3 MCS-51 单片机的定时/计数器	89
5.3.1 定时/计数器的控制	89
5.4 定时/计数器的工作方式	89
5.4.1 定时/计数工作方式 0	90
5.4.2 定时/计数工作方式 1	91
5.4.3 定时/计数工作方式 2	93
5.4.4 定时/计数工作方式 3	94
5.5 定时/计数器的一般编程步骤	95
思考与练习题	99
第 6 章 单片机串行通信技术	102
6.1 单片机串行通信简介	102
6.1.1 串行通信的几个基本概念	102
6.1.2 MCS-51 单片机的串行接口	103
6.2 单片机串行口的工作方式	105
6.2.1 串行工作方式 0	105
6.2.2 串行工作方式 1	107
6.2.3 串行工作方式 2、3	108
6.3 串行通信程序设计步骤及应用举例	110
思考与练习题	116
第 7 章 单片机的扩展技术	118
7.1 MCS-51 单片机系统扩展概述	118
7.1.1 单片机最小应用系统	118
7.1.2 系统扩展的内容与方法	119
7.1.2 常用扩展器件简介	120
7.2 MCS-51 单片机存储器的扩展	123
7.2.1 线选法与译码法	123
7.2.2 外部程序存储器的扩展	124
7.2.3 外部数据存储器的扩展	127
7.2.4 外部存储器的综合扩展	129
7.3 MCS-51 单片机 I/O 的扩展	130



7.3.1 简单 I/O 口的扩展	130
7.3.2 8255A 扩展并行接口	133
7.3.3 8155 扩展并行接口	137
思考与练习题	142
 第 8 章 单片机 I/O 设备接口技术	144
8.1 单片机人机接口技术	144
8.1.1 显示接口	144
8.1.2 键盘接口	148
8.2 D/A 数模转换技术	153
8.2.1 D/A 转换器的工作原理	153
8.2.2 典型 D/A 芯片 DAC0832 的应用	155
8.3 A/D 模数转换技术	159
8.3.1 A/D 转换器的工作原理	159
8.3.2 典型 A/D 芯片 ADC0809 的应用	161
思考与练习题	166
 第 9 章 单片机应用系统设计	168
9.1 单片机应用系统设计过程与方法	168
9.1.1 单片机应用系统的开发过程	168
9.1.2 单片机应用系统的开发方法	170
9.2 单片机应用系统抗干扰技术	174
9.2.1 单片机系统干扰概述	174
9.2.2 硬件抗干扰技术	176
9.2.3 软件抗干扰技术	177
9.3 单片机应用系统设计实例—简易数字电压表	181
9.4 USB 在线编程器	187
思考与练习题	197
 附录 I MCS-51 系列单片机指令表	198
附录 II ASCII 码字符表	202
参考文献	203

第 1 章 单片机基础知识

1.1 单片机简介

1.1.1 单片机的基本概念

单片机是一种集成在电路芯片，采用超大规模集成电路技术把具有数据处理能力的中央处理器 CPU、随机存储器 RAM、只读存储器 ROM、多种 I/O 口和中断系统、定时器/计时器等功能（可能还包括显示驱动电路、脉宽调制电路、模拟多路转换器、A/D 转换器等电路）集成到一块硅片上构成的一个小而完善的计算机系统。

单片机也被称为微控制器（Microcontroller Unit），常用英文字母的缩写 MCU 表示单片机，它最早是被用在工业控制领域。单片机由芯片内仅有 CPU 的专用处理器发展而来。最早的设计理念是通过将大量外围设备和 CPU 集成在一个芯片中，使计算机系统更小，更容易集成进复杂的而对体积要求严格的控制设备当中。INTEL 的 Z80 是最早按照这种思想设计出的处理器，从此以后，单片机和专用处理器的发展便分道扬镳。

单片机又称单片微控制器，它不是完成某一个逻辑功能的芯片，而是把一个计算机系统集成到一个芯片上。相当于一个微型的计算机，和计算机相比，单片机只缺少了 I/O 设备。概括的讲：一块芯片就成了一台计算机。它的体积小、质量轻、价格便宜、为学习、应用和开发提供了便利的条件。同时，学习使用单片机是了解计算机原理与结构的最佳选择。

单片机内部也用和电脑功能类似的模块，比如 CPU、内存、并行总线，还有和硬盘作用相同的存储器件，不同的是它的这些部件的性能虽然相对我们的家用电脑弱很多，然而价钱方面也相对低很多，只要外加少许电子零件和集成电路便



可以构成一个功能强大的计算机控制系统,用它来做一些控制电器一类不是很复杂的工作完全能够满足要求。

1.1.2 单片机的发展历史

将 8 位单片机的推出作为起点,单片机的发展历史大致可分为以下几个阶段。

(1) 第一阶段(1976—1978):单片机的探索阶段。以 Intel 公司的 MCS-48 为代表。MCS-48 的推出是在工程领域的探索,参与这一工程的公司还有 Motorola、Zilog 等,都取得了满意的效果。这就是 SCM(单片微型计算机, Single Chip Microcomputer 的缩写)的诞生年代,“单片机”一词即由此而来。

(2) 第二阶段(1978—1982):单片机的完善阶段。Intel 公司在 MCS-48 基础上推出了完善的、典型的单片机系列 MCS-51。它在以下几个方面奠定了典型的通用总线型单片机体系结构。

① 完善的外部总线。MCS-51 设置了经典的 8 位单片机的总线结构,包括 8 位数据总线、16 位地址总线、控制总线及很多具有通信功能的串行通信接口。

② CPU 外围功能单元的集中管理模式。

③ 体现工控特性的位地址空间及位操作方式。

④ 指令系统趋于丰富和完善,并且增加了许多突出控制功能的指令。

(3) 第三阶段(1982—1990):8 位单片机的巩固发展及 16 位单片机的推出阶段,也是单片机向微控制器发展的阶段。Intel 公司推出的 MCS-96 系列单片机,将一些用于测控系统的模数转换器、程序运行监视器、脉宽调制器等纳入片中,体现了单片机的微控制器特征。随着 MCS-51 系列的广应用,许多电气厂商竞相使用 80C51 为内核,将许多测控系统中使用的电路技术、接口技术、多通道 A/D 转换部件、可靠性技术等应用到单片机中,增强了外围电路功能,强化了智能控制的特征。

(4) 第四阶段(1990—至今):微控制器的全面发展阶段。随着单片机在各个领域全面深入地发展和应用,出现了速度快、寻址范围大、运算能力强的 8 位、16 位、32 位通用型单片机,以及小型廉价的专用型单片机。

1.1.3 单片机的发展趋势

1. 低功耗 CMOS 化

MCS-51 系列的 8031 推出时的功耗达 630 mW,而现在的单片机普遍都在 100 mW 左右,随着对单片机功耗要求越来越低,现在的各个单片机制造商基本都采用了 CMOS(互补金属氧化物半导体工艺)。如 80C51 就采用了 HMOS(即

高密度金属氧化物半导体工艺) 和 CHMOS (互补高密度金属氧化物半导体工艺)。CMOS 虽然功耗较低, 但由于其物理特征决定其工作速度不够高, 而 CHMOS 则具备了高速和低功耗的特点, 这些特征, 更适合于在要求低功耗像电池供电的应用场合。所以这种工艺将是今后一段时期单片机发展的主要途径。

2. 微型单片化

现在常规的单片机普遍都是将中央处理器 (CPU)、随机存取数据存储器 (RAM)、只读程序存储器 (ROM)、并行和串行通信接口, 中断系统、定时电路、时钟电路集成在一块单一的芯片上, 增强型的单片机集成了如 A/D 转换器、PMW (脉宽调制电路)、WDT (看门狗)、有些单片机将 LCD (液晶) 驱动电路都集成在单一的芯片上, 这样单片机包含的单元电路越多, 功能就越强大。甚至单片机厂商还可以根据用户的要求量身定做, 制造出具有自己特色的单片机芯片。此外, 现在的产品普遍要求体积小、质量轻, 这就要求单片机除了功能强和功耗低外, 还要求其体积要小。现在的许多单片机都具有多种封装形式, 其中 SMD (表面封装) 越来越受欢迎, 它们使得由单片机构成的系统正朝微型化方向发展。

3. 主流与多品种共存

虽然现在单片机的品种繁多, 各具特色, 但仍以 80C51 为核心的单片机占主流, 兼容其结构和指令系统的有 PHILIPS 公司的产品, ATMEL 公司的产品和中国台湾的 Winbond 系列单片机。所以以 80C51 为核心的单片机占据了半壁江山。而 Microchip 公司的 PIC 精简指令集 (RISC) 也有着强劲的发展势头, 中国台湾的 HOLTEK 公司近年的单片机产量与日俱增, 以其低价质优的优势, 占据一定的市场份额。此外还有 MOTOROLA 公司的产品, 日本几大公司的专用单片机。在一定的时期内, 这种情形将得以延续, 将不存在某个单片机一统天下的垄断局面, 走的是依存互补、相辅相成、共同发展的道路。

4. 语言高级化

随着单片机更广泛深入的开发应用, 存储器和寻址空间的扩大, 高级 C 语言面向对象的进步以及广大编程人员对 C 语言的普遍熟悉, 加上汇编语言设计复杂程序的固有缺点等原因, 使得 C 语言开发单片机应用软件将成为必然。目前较高档的以 80C51 为核心的单片机系列都将配置 C 语言资源, 较高档的开发系统均已具备 C 语言应用开发功能。

1.1.4 单片机的应用领域

目前单片机渗透到我们生活的各个领域, 几乎很难找到哪个领域没有单片机的踪迹。导弹的导航装置, 飞机上各种仪表的控制, 计算机的网络通信与数据传输, 工业自动化过程的实时控制和数据处理, 广泛使用的各种智能 IC 卡, 民用



豪华轿车的安全保障系统,录像机、摄像机、全自动洗衣机的控制,以及程控玩具、电子宠物等,这些都离不开单片机。更不用说自动控制领域的机器人、智能仪表、医疗器械了。

1. 智能仪器仪表

单片机具有体积小、功耗低、控制功能强、扩展灵活、微型化和使用方便等优点,广泛应用于仪器仪表中,结合不同类型的传感器,可实现诸如电压、功率、频率、湿度、温度、流量、速度、厚度、角度、长度、硬度、元素、压力等物理量的测量。采用单片机控制使得仪器仪表数字化、智能化、微型化,且功能比起采用电子或数字电路更加强大。例如精密的测量设备(功率计,示波器,各种分析仪)。

2. 工业自动化控制

用单片机可以构成形式多样的控制系统、数据采集系统。例如工厂流水线的智能化管理,电梯智能化控制、各种报警系统,与计算机联网构成二级控制系统等。

3. 家用电器

现在的家用电器基本上都采用了单片机控制,从智能电饭煲、洗衣机、电冰箱、空调机、彩电、其他音响视频设备到电子称量设备,五花八门,无处不在。

4. 在计算机网络和通信领域中的应用

现代的单片机普遍具备通信接口,可以很方便地与计算机进行数据通信,为在计算机网络和通信设备间的应用提供了极好的物质条件,现在的通信设备基本上都实现了单片机智能控制,从手机,电话机、小型程控交换机、楼宇自动通信呼叫系统、列车无线通信、再到日常工作中随处可见的移动电话,集群移动通信,无线电对讲机等。

5. 在医用设备中的应用

例如医用呼吸机,各种分析仪,监护仪,超声诊断设备及病床呼叫系统,等等。

此外,单片机在工商,金融,科研,教育,国防航空航天、汽车电子等领域都有着十分广泛的用途。

1.2 单片机学习中常用的术语

1.2.1 位 (bit)

位是计算机所能表示的最基本、最小的数据单位。由于在计算机中采用二进

制, 1 个位就是 1 位二进制数, 它有两种状态: 0 和 1。若干位二进制数的组合能表示各种数据和字符。

1.2.2 字节 (Byte)

为了便于存取, 常把相邻的 8 位二进制数, 称为 1 个字节, 即 $1 \text{ Byte} = 8 \text{ bit}$, 也就是说 1 个字节的长度是 8 位, 16 位二进制数便是 2 个字节。在微型计算机中, 通常以字节为单位来存放数据。字节是衡量信息量大小、信息存储的基本单位, 常用的还有 KB (千字节)、MB (兆字节)、GB (吉字节) 等, 其换算关系为:

$$1 \text{ KB} = 1024 \text{ B}$$

$$1 \text{ MB} = 1024 \text{ KB} = 1024 * 1024 \text{ B}$$

$$1 \text{ GB} = 1024 \text{ MB} = 1024 * 1024 \text{ KB} = 1024 * 1024 * 1024 \text{ B}$$

1.2.3 字 (word) 和字长

2 个字节 16 个位为一个字, 它代表计算机处理指令或数据的二进制数位数, 是计算机进行数据存储和数据处理的运算单位。通常称 16 位是一个字, 32 位是一个双字, 64 位是两个双字。

在同一时间中处理二进制数的位数叫字长。通常称处理字长为 8 位数据的 CPU 叫 8 位 CPU, 32 位 CPU 就是在同一时间内处理字长为 32 位的二进制数据。字长与计算机的功能和用途有很大的关系, 是计算机的一个重要技术指标。字长直接反映了一台计算机的计算精度, 为适应不同的要求及协调运算精度和硬件造价间的关系, 大多数计算机均支持变字长运算, 即机内可实现半字长、全字长 (或单字长) 和双倍字长运算。在其他指标相同时, 字长越大, 计算机的处理数据的速度就越快。早期的微机字长一般是 8 位和 16 位, 386 以及更高的处理器大多是 32 位。目前市面上的计算机的处理器大部分已达到 64 位。

1.2.4 单片机中的存储器

1. 程序存储器 (ROM)

单片机中的程序存储器是一种只读存储器 (ROM)。只读存储器的特点是信息一经写入, 单元的内容就不能改变, 即使断电也不消失, 但可以读出。单片机系统中的 ROM 用来存放程序、常数和数据表格等。MCS-51 系列单片机内部一



一般都集成了一定数量被称为电可擦除的 ROM (EEPROM)，通过专用的擦写工具可以重写其内容。

2. 随机存储器 (RAM)

· 随机存储器的特征是单元内容可读可写，掉电即消失。随机存储器分为静态随机存储器 (Static RAM, SRAM) 和动态随机存储器 (Dynamic RAM, DRAM)，静态随机存储器在加电运行期间，除非改写，否则其存储信息不会变化，动态随机存储器，需要不断进行刷新以便周期性再生。现在计算机中内存基本都是动态随机存储器，而单片机中的 RAM 则普遍为静态随机存储器，主要存放的是程序过程中的中间变量。

1.2.5 总线 (Bus)

总线 (Bus) 是计算机各种功能部件之间传送信息的公共通信干线，它是由导线组成的传输线束，按照计算机所传输的信息种类，计算机的总线可以划分为数据总线、地址总线和控制总线，分别用来传输数据、数据地址和控制信号。

1. 数据总线 (Data Bus, DB)

数据总线 DB 用于传送数据信息。数据总线是双向三态形式的总线，即他既可以把 CPU 的数据传送到存储器或 I/O 接口等其他部件，也可以将其他部件的数据传送到 CPU。

2. 地址总线 (Address Bus, AB)

地址总线 AB 是专门用来传送地址的，由于地址只能从 CPU 传向外部存储器或 I/O 端口，所以地址总线总是单向三态的，这与数据总线不同。地址总线的位数决定了 CPU 可直接寻址的内存空间大小，比如 8 位微机的地址总线为 16 位，则其最大可寻址空间为 $2^{16} = 64 \text{ KB}$ 。

3. 控制总线 (Control Bus, CB)

控制总线 CB 用来传送控制信号和时序信号。控制信号中，有的是微处理器送往存储器和 I/O 接口电路的，如读/写信号、片选信号、中断响应信号等；也有是其他部件反馈给 CPU 的，比如：中断申请信号、复位信号、总线请求信号、设备就绪信号等。因此，控制总线的传送方向由具体控制信号而定，一般是双向的，控制总线的位数要根据系统的实际控制需要而定。实际上控制总线的具体情况主要取决于 CPU。

1.2.6 输入/输出接口 (I/O 接口)

I/O 接口是 CPU 与外部设备进行信息交换的部件，负责实现 CPU 通过系统

总线把 I/O 电路和外围设备联系在一起。目前,大多数接口电路都已标准化和系列化,一般都可编程。

1.3 数制与码制

1.3.1 数制

计算机和单片机系统中通常采用二进制系统。二进制位数较长,不够直观,书写、阅读和记忆均不方便,在单片机语言的表达形式上习惯采用十进制、八进制和十六进制数。掌握各种数制的运算规则以及它们之间的相互转换是学习单片机的基础。数制的概念在计算机基础知识和数字电路课程中都有讲述,这里我们不作赘述。

1.3.2 码制

1. 原码、反码、补码

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。

原码: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机器数称为原码,用 $[X]_{\text{原}}$ 表示,设 X 为整数。

例如: $[115]_{\text{原}} = 01110011\text{B}$; $[-115]_{\text{原}} = 11110011\text{B}$

可见,真值 X 与原码 $[X]_{\text{原}}$ 的关系为:

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

8 位二进制原码能表示的范围是: $-127 \sim +127$ 。

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。

例如: $[103]_{\text{原}} = 01100111\text{B}$, $[103]_{\text{反}} = 01100111\text{B}$

$[-103]_{\text{原}} = 11100111\text{B}$, $[-103]_{\text{反}} = 10011000\text{B}$ 。

真值 X 与反码 $[X]_{\text{反}}$ 的关系为:

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



补码：使用补码，可以将符号位和其他位统一处理；同时，减法也可按加法来处理。另外，两个用补码表示的数相加时，如果最高位（符号位）有进位，则进位被舍弃。

先了解关于“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 位二进制数来说，数 X 的补码定义为：

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

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，但由于减法不方便，一般该法不用。实际中常用的负数补码求法是：用原码求反码，再在数值末位加 1。例如 8 位二进制数的补码：

$$[+73]_{\text{补}} = 01001001\text{B}; [-73]_{\text{补}} = \sim[01001001\text{B}] + 1 = 10110111\text{B}.$$

$$\text{例如：} 65 - 21 = 44, \text{即 } 65 + (-21) = 44, [65]_{\text{补}} = 01000001\text{B},$$

$$[-21]_{\text{补}} = 11101011\text{B}, [65]_{\text{补}} + [-21]_{\text{补}} = 01000001\text{B} + 11101011\text{B} = 00101100\text{B},$$

即等于 44。

8 位二进制补码能表示的范围为：-128 ~ +127，若超过此范围，则为溢出。

2. BCD 码

用 4 位二进制数来表示 1 位十进制数中的 0~9 这 10 个数码，简称 BCD 码，是一种二进制的数字编码形式，用二进制编码的十进制代码。由于十进制数共有 0、1、2、……、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。4 位二进制码共有 $2^4 = 16$ 种码组，在这 16 种代码中，可以任选 10 种来表示 10 个十进制数码。常用的 BCD 代码为 8421 码，0000 表示 0，0001 表示 1，0010 表示 2，……，依次类推。

$$\text{例如：} \quad 69 = [0110 \ 1001\text{B}]_{\text{BCD}} = [69\text{H}]_{\text{BCD}}$$

3. ASCII 码

为了提高数字电路传递代码的可靠性，需采用一些编码方法，如：格雷码、余 3 循环码、奇偶校验码等。国际上还规定了一些专门处理字母、专用符号和数字的二进制代码，比较常见的有 ASCII 码。

ASCII 码：美国国家信息交换标准代码，一种使用 7 个或 8 个二进制位进行编码的方案，最多可以给 256 个字符（包括字母、数字、标点符号、控制字符及其他符号）分配或指定数值。其中 10 个数字 0~9 的 ASCII 码是 30H~39H；字母“A”与“a”的 ASCII 码分别是 41H 和 61H，其他字符的 ASCII 码可参见附录 II。

1.4 MCS-51 单片机简介

MCS-51 是 Intel 公司生产的一个单片机系列名称。这一系列的单片机有多种，如：8051/8751/8031，8052/8752/8032，80C51/87C51/80C31，80C52/87C52/80C32。在产品型号中凡带有字母“C”的，即为 CHMOS 芯片。在功能上，末尾数字为“1”的型号为基本型，“2”为增强型。80C51 是 MCS-51 系列单片机中 CHMOS 工艺的一个典型品种，其他产商以 8051 为基核开发出的 CHMOS 工艺单片机产品统称为 80C51 系列。当前常用的 80C51 系列单片机的主要产品有：

Intel 公司的：80C31、80C51、87C51、80C32、80C52、87C52 等；

ATMEL 公司的：89C51、89C52、89C2051、89C4051 等。

此外，世界比较流行的单片机还有 MicroChip 公司开发的 RISC（精简指令集）结构的 PIC 单片机和 Atmel 公司生产的哈佛结构超功能精简指令集的 AVR 单片机。

MCS-51 系列单片机内部主要由以下几部分组成：中央处理器（CPU），数据存储器（RAM），程序存储器（ROM），2 个 16 位的定时器/计数器，并行 I/O 口（32 根 I/O 线，4 个端口），外部存储器寻址范围 ROM、RAM 各 64K，全双工串行口；中断系统（5 个中断源，2 个中断优先级），时钟电路。本书将以 MCS-51 系列单片机作为模板进行学习。



思考与练习题 <<<



1. 查表找出下列字符的 ASCII 码。

(1) “7” (2) “*” (3) “G” (4) “%”

2. 将下列十进制数转化为二进制和十六进制数。

(1) 128 (2) 55 (3) 12.36 (4) 0.258

3. 将二进制或十六进制数转化成十进制数。

(1) 99H (2) 0DEH (3) 44.56H (4) F.FH
(5) 01101111B (6) 10101010B (7) 1111.1111B (8) 0101.0011B

4. 求下列数的原码、反码和补码。

(1) 23 (2) A7H (3) -148 (4) -128

5. 填空题

(1) 表示存储器容量的基本单位是字节，1 字节 = _____ 位，1K 字节 =