

Danpianji

Yuanli Ji Yingyong
Danpianji Yuanli Ji Yingyong



单片机 原理及应用

余修武 编著



1010010101110001010011111010010100110000100
1010010101110001010011111010010100110000100
1010010101110001010011111010010100110000100
1010010101110001010011111010010100110000100



电子科技大学出版社

单片机原理及应用

余修武 编著

电子科技大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

单片机原理及应用/余修武编著. —成都: 电子科技大学出版社, 2008. 1

ISBN 978-7-81114-684-4

I. 单… II. 余… III. 单片微型计算机 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 179331 号

内 容 简 介

随着单片机在各领域中的应用越来越广泛, 促使广大高职院校学生和技术人员竞相学习、掌握单片机技术, 也对单片机教材有了更高的要求, 本书就是为此目的而编写的。

根据目前国内使用单片机的现状, 本书以 8 位单片机 80C51 系列来介绍。全书共分 9 章, 主要包括: 单片机概述和基础知识, 单片机芯片的硬件结构和原理, 指令系统和汇编语言程序设计, 系统扩展, 测控接口, 串行通信接口, 中断系统及定时器/计数器, 单片机应用系统设计实例和实训操作等。全书以通俗的语言, 深入浅出、全面系统地阐述了单片机的结构原理, 又精选了大量的实用性实例来讲解、分析单片机应用技术。同时将各章节知识连贯起来, 获得系统而完整的概念, 进一步理解和掌握单片机应用技术。每章后面备有各种习题和可操作性实训, 以巩固所学知识, 其中大量实训是作者多年在科研和教学中反复提炼得来的, 重在培养学生的动手操作能力, 体现培养应用型人才的要求。本着理论够用、注重应用的原则, 采用教、学、做相结合的教学内容安排模式是本书的特点。

本书主要作为高职高专、成人高等院校电子、机电、数控、计算机通信、自动化控制等专业的专业课程教材使用; 也可作为本科院校相关专业的专业基础课程教材和中职中专学校相关专业的专业技术课程教材使用; 还可作为短期应用技能型人才培养培训教材使用和继续教育、单片机爱好者、工程技术人员自学用书。

单片机原理及应用

余修武 编著

出 版: 电子科技大学出版社 (成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)

策划编辑: 朱 丹

责任编辑: 朱 丹 暴 静

主 页: www.uestcp.com.cn

电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn

发 行: 新华书店经销

印 刷: 成都蜀通印务有限责任公司

成品尺寸: 185mm×260mm 印张 20 字数 487 千字

版 次: 2008 年 1 月第一版

印 次: 2008 年 1 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-81114-684-4

定 价: 28.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

- ◆ 邮购本书请与本社发行部联系。电话: (028) 83202323, 83256027
- ◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。
- ◆ 课件下载在我社主页“下载专区”。

前 言

单片机 (Single Chip Micro Controller) 是单片微型计算机的简称。微型计算机的两大分支之一, 是以发展面向对象的用于实时测控领域的微控制器 (MicroController Unit)。单片机是 20 世纪 70 年代中期发展起来的一种大规模集成电路芯片, 几乎把微型计算机系统的各功能模块都集成在同一块芯片上, 完成整个系统的功能, 实现“系统单片机”。其最基本特征是体积小、功耗低、运行可靠和价格低廉, 使其得到了广阔的应用前景及更强的生命力。近些年来, 单片机发展迅速, 涌现出了许多高性能新型机种。在智能机器人、数控车床、工业控制、智能仪表仪器、信息通信、交通、航运、家电、汽车等诸多领域中取得了广泛的应用。几乎很难找到哪个领域没有单片机的足迹。特别是单片机嵌入 (隐藏或埋藏之意) 式系统的开发与应用, 标志着计算机技术发展史上又一个新的里程碑。

据 20 世纪末统计, 单片机的年用量为 25 亿片, 是计算机通用微处理器年用量的几十倍, 可见单片机的应用是非常广泛的。因此对于工科相关专业的技术人员和学生来说, 学习和掌握单片机技术是非常必要的, 也是必需的。所以各类学校工科相关的专业, 要像计算机课程一样都应开设单片机课程。这样既可以把计算机技术运用到本专业领域或相关领域, 又使计算机与单片机课程互通互补、相互衔接、加深理解, 可实现事半功倍的教学效果。这是因为单片机和通用微机作为微型机发展的两大分支, 其基本结构、工作原理、控制思路 and 实现方法都非常类似。以通用微机为基础, 再学单片机就容易了, 这样还可减少教学学时数。

目前许多单片机新产品仍以 8051 为内核, 形成了所谓的 80C51 主流系列, 同时在单片机应用领域中占主流地位的是 8 位机, 虽然近几年来也发展出 16 位和 32 位产品, 但在今后相当长的一段时间内仍然是以 8 位机为主。因此本书以 8 位的 80C51 系列单片机为例进行讲授, 既符合教学特点的典型性, 实验设备成熟、便宜, 又不失内容的先进性与应用性。故只要学好典型机种的单片机技术, 就可达到“一通百通”的效果。

《单片机原理及应用》是一门应用性很强的课程, 本书共安排了 9 个实训 (有一个课程设计) 和 6 个应用系统设计实例, 融入理论教学的全过程, 这是本书的显著特点, 非常适合“边教, 边学, 边做”的教学模式, 从感性认识和实践入手, 以应用为目的, 本着知识够用为度和理论与实践相结合的思路来编写本书, 讲授原理以实际应用性和可操作性为落脚点, 以培养综合应用能力为核心来教学。在实训中学理论使枯燥的概念变得具体而形象, 为保证教材的通用性, 书中设计的实训实验一般院校都有条件完成, 也应尽量去完成。因硬件条件所限不能进行的实训内容, 可以通过仿真软件来完成, 以实现理论教学与实践教学相结合融为一体, 即先在“学中做”, 后在“做中学”。使学生既有一定的理论基础, 又掌握了实用的技术。

本书全面而系统地介绍了 80C51 系列单片机的结构原理和应用技术, 精选了大量的单片机应用实例, 具有实际参考价值和实用性。全书结构紧凑, 章节编排合理, 具有一定的通用性。力求文句简练, 通俗易懂, 内容正确完整, 叙述条理清晰, 深入浅出。每章都配有基本

要求、小结、习题和技能实训，以利于读者“学”“做”结合，也便于教学，以巩固和提高所学知识。并在书后附录中给出了部分习题答案，可供师生参考。全书共分9章：第1章是计算机基础及单片机概述；第2~5章为80C51单片机的结构原理、汇编指令和汇编程序设计；第6~8章为80C51单片机接口技术，包括I/O接口、键盘/显示接口、串行接口通信、A/D和D/A、总线和驱动技术；第9章为单片机应用系统设计。

本课程的参考学时数为96学时（含实训），使用者可根据具体情况增减学时数。

本书由余修武编著。黄大坤参与了第2、3、4章的编写，黄海军参与了第1、6章的编写，张常友参与了第1~8章的技能实训的编写。本书在编写和出版过程中得到了江西渝州科技学院领导与师生的极大帮助，特别是得到杨名权院长的大力支持；还有中国电子学会戴茗（主任）、石咏梅以及电子科技大学出版社朱丹（主任）为本书出版给予了帮助。杜秋来、刘秋平、郭小娟、余员琴、李扬、郝庆华、江珊为本书录入了部分文稿和绘制了部分插图，任宏坦、韩志宏、刘磊、黄亚斌、黄方方、朱志达、吴有恩、邹小金在本书编写到出版过程中提供了各种帮助。此外，在编写过程中查阅、参考了大量的文献资料。对于上述同志以及和本书出版有关的人员、参考文献原作者和出版社，在此谨向他们表示衷心的感谢。

由于单片机技术日新月异，加上时间仓促和水平所限，书中难免有错误和不妥之处，敬请读者批评指正以便再版修改，不胜感激。作者电子邮箱：YXW2008XY@163.com。

作 者
2007年9月

目 录

第 1 章 单片机概述	1
1.1 信息在计算机中的表示	1
1.1.1 计算机数据类型	1
1.1.2 数制及其之间的转换	1
1.1.3 数在计算机内的表示	3
1.1.4 字符在计算机内的表示	5
1.2 单片机基础	5
1.2.1 单片机及其应用系统	5
1.2.2 单片机分类	6
1.2.3 单片机的应用特点	7
1.2.4 单片机的发展及趋势	7
1.2.5 单片机的应用	8
1.3 MCS-51 与 80C51 系列单片机	9
1.3.1 MCS-51 系列单片机	9
1.3.2 80C51 系列单片机	9
本章小结	10
习题 1	11
技能实训 1 单片机开发软件 KEIL μ VISION 3 的使用简介	12
第 2 章 80C51 单片机结构原理	23
2.1 80C51 的基本结构	23
2.1.1 80C51 的基本结构	23
2.1.2 80C51 的应用模式	24
2.2 80C51 产品资源配置与引脚封装	25
2.2.1 80C51 产品资源配置	25
2.2.2 80C51 单片机的封装与引脚	25
2.3 80C51 的内部结构	27
2.3.1 80C51 单片机芯片内部逻辑结构	27
2.3.2 80C51 单片机的时钟和时序	29
2.3.3 80C51 单片机的复位	32
2.4 80C51 单片机的 I/O 口结构与操作	33
2.4.1 P0、P2 接口的结构	33
2.4.2 P1、P3 接口的结构	35
2.4.3 并行接口的负载能力	37

2.5 80C51 的存储器	37
2.5.1 80C51 的程序存储器.....	38
2.5.2 80C51 的数据存储器.....	38
2.5.3 80C51 单片机的特殊功能寄存器.....	39
本章小结	41
习题 2	41
技能实训 2 基本 I/O 口输出与输入	43
第 3 章 80C51 单片机指令系统.....	47
3.1 80C51 指令系统概述	47
3.1.1 80C51 指令的分类.....	47
3.1.2 80C51 单片机指令系统的特点.....	47
3.2 指令格式及常用符号	48
3.2.1 机器指令编码格式	48
3.2.2 符号指令格式	49
3.2.3 符号指令及其注解中常用符号的含义	49
3.3 80C51 的寻址方式及指令执行过程.....	50
3.3.1 80C51 的寻址方式.....	50
3.3.2 80C51 单片机指令执行的过程.....	54
3.4 系统的指令类型	55
3.4.1 数据传送类指令（29 条）	55
3.4.2 算术运算类指令（24 条）	59
3.4.3 逻辑运算与移位类指令（24 条）	64
3.4.4 控制转移类指令（17 条）	67
3.4.5 位操作类指令（17 条）	71
本章小结	74
习题 3	74
技能实训 3 80C51 驱动蜂鸣器发声.....	76
第 4 章 80C51 单片机汇编语言程序设计.....	79
4.1 程序编制的方法和技巧	79
4.1.1 程序编制的步骤	79
4.1.2 编制程序的方法和技巧	80
4.1.3 汇编语言的语句格式	80
4.2 源程序的编制	81
4.2.1 源程序的编制和汇编	81
4.2.2 伪指令	82
4.3 基本程序的结构	84
4.3.1 顺序程序	85

4.3.2	分支程序	86
4.3.3	循环程序	90
4.3.4	子程序及其调用	91
4.4	80C51 单片机汇编语言程序设计举例	94
4.4.1	算术运算程序	94
4.4.2	码型转换程序	99
4.4.3	查表程序	101
4.4.4	定时程序	103
本章小结	.....	104
习题 4	.....	104
技能实训 4	八位数码管动态循环显示	105
第 5 章	80C51 单片机中断系统及定时器/计数器	108
5.1	80C51 单片机中断系统	108
5.1.1	单片机中断技术概述	108
5.1.2	单片机中断系统的结构	109
5.1.3	单片机的中断源	110
5.1.4	单片机的中断控制	111
5.1.5	单片机的中断过程	114
5.1.6	中断应用举例	119
5.2	80C51 单片机的定时器/计数器	121
5.2.1	定时器/计数器概述	121
5.2.2	定时器/计数器的结构和工作原理	121
5.2.3	定时器/计数器的控制	123
5.2.4	定时器/计数器的工作方式	124
5.2.5	定时器/计数器外部中断源扩展	131
5.3	定时器/计数器应用举例	131
5.4	80C51 单片机中断与定时器/计数器综合应用	132
本章小结	.....	136
习题 5	.....	137
技能实训 5	数码管显示 00~59 秒表	139
第 6 章	80C51 单片机系统扩展	144
6.1	系统扩展概述	144
6.1.1	系统扩展结构	144
6.1.2	单片机的最小系统	144
6.2	存储器扩展	146
6.2.1	存储器扩展概述	146
6.2.2	程序存储器扩展	151

6.2.3 数据存储器扩展	155
6.2.4 ROM 和 RAM 的综合扩展	159
6.3 I/O 接口扩展概述	160
6.3.1 I/O 接口功能	160
6.3.2 I/O 端口的编址	161
6.3.3 I/O 数据的几种传送方式	161
6.3.4 I/O 接口电路芯片	162
6.3.5 简单 I/O 口扩展	162
6.4 8255A 可编程并行接口芯片	163
6.4.1 8255A 芯片介绍	163
6.4.2 8255A 的工作方式	164
6.4.3 8255A 的控制字	166
6.4.4 8255A 与 80C51 单片机的接口	167
6.5 8155 可编程并行接口芯片	168
6.5.1 8155H 芯片介绍	169
6.5.2 8155 芯片与单片机的接口	172
6.6 8279 接口芯片	173
6.6.1 8279 的内部逻辑结构	173
6.6.2 8279 的引脚定义	175
6.6.3 8279 的操作命令	176
6.6.4 8279 的状态字	179
6.7 键盘及接口	179
6.7.1 键盘输入的特点	179
6.7.2 键盘的工作原理	181
6.7.3 键盘的工作方式	183
6.8 LED 显示器及接口	184
6.8.1 LED 显示器的结构与原理	184
6.8.2 LED 数码管显示器的译码方式	185
6.8.3 LED 数码管的显示方式	186
6.8.4 LED 显示器与单片机的接口	187
6.9 键盘/显示器接口设计实例	189
6.9.1 利用并行 I/O 芯片 8155 实现键盘/显示器接口	189
6.9.2 利用 8279 芯片构成键盘和显示接口电路	191
6.9.3 利用单片机的串行口构成键盘和显示接口电路	193
本章小结	193
习题 6	194
技能实训 6 可编程接口芯片 8255 的应用	195
第 7 章 80C51 单片机串行通信	198

7.1 串行通信基础	198
7.1.1 串行通信的基本原理	199
7.1.2 串行通信的接口标准	204
7.2 80C51 单片机的串行接口	209
7.2.1 串行接口的结构	210
7.2.2 串行接口的控制寄存器	211
7.2.3 串行接口的工作方式	212
7.3 单片机串行接口应用	218
7.3.1 单片机与单片机的通信	218
7.3.2 单片机与 PC 机通信	222
本章小结	223
习题 7	223
技能实训 7 单片机间的串行通信	225
第八章 80C51 单片机测控接口	228
8.1 D/A 转换器及其与单片机接口	228
8.1.1 D/A 转换器概述	228
8.1.2 DAC0832 芯片及其与单片机接口的应用	230
8.2 A/D 转换器及其与单片机接口	236
8.2.1 A/D 转换器概述	236
8.2.2 ADC0809 芯片及其与单片机接口的应用	237
8.3 开关量接口	240
8.3.1 开关量输入接口	241
8.3.2 开关量输出接口	242
本章小结	244
习题 8	244
技能实训 8 利用 ADC0809 制作数字电压表	245
第 9 章 单片机应用系统设计	250
9.1 单片机应用系统设计与开发概述	250
9.1.1 应用系统设计的要求	250
9.1.2 应用系统设计步骤	251
9.1.3 应用系统开发	252
9.1.4 应用系统传统的开发方式	253
9.1.5 单片机开发方式的发展	254
9.2 单片机应用系统的可靠性技术	254
9.2.1 滤波技术	254
9.2.2 接地技术	255
9.2.3 屏蔽技术	258

9.2.4 隔离技术	259
9.2.5 反电势干扰及其抑制技术	260
9.3 单片机应用系统设计实例	260
9.3.1 家电领域单片机的应用	260
9.3.2 水塔水位控制	270
9.3.3 作息时间控制钟	272
9.3.4 交通信号灯模拟控制	274
9.3.5 工业顺序控制	276
本章小结	278
习题 9	279
技能实训 9 课程设计(综合实训)——电脑钟的设计与制作	279
附录	295
附录 A 80C51 系列单片机指令表	295
附录 B 80C51 系列单片机常用资料	301
附录 B1 特殊功能寄存器列表	301
附录 B2 单片机复位状态表	303
附录 B3 工作寄存器和 RAM 地址对照表	303
附录 B4 RAM 中 20H~2FH 的位地址表	304
附录 B5 P3 口的第二功能定义表	304
附录 C ASCII 码(美国标准信息交换码)表	305
附录 D 二进制逻辑单元图形符号对照表	306
附录 E 常用芯片引脚图	306
附录 F 部分习题答案	307
参考文献	310

第 1 章 单片机概述

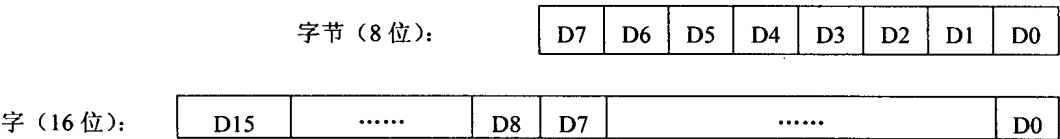
本章基本要求

通过本章的学习应熟悉计算机中的数制和编码，了解 80C51 系列单片机的概念、特点、发展及应用领域，理解典型单片机系列的基本情况。

1.1 信息在计算机中的表示

1.1.1 计算机数据类型

我们知道在计算机中，所有的数据都是以二进制表示的，但是有的数据用 8 位二进制表示，有的用 16 位二进制表示，有的用 32 位二进制表示等等。这就跟数据类型有关，在计算机中，数据类型有字节、字、双字等。针对不同类型数据，二进制表示位数也不同，下面是几种常用数据类型格式：



1.1.2 数制及其之间的转换

一、数制

数制是指计数规则。在日常生活中人们最熟悉的是十进制，除此之外，还有二进制、十六进制等。为了区分不同的进位进制，一般在数字后面加上数制字符，例如，2 代表二进制，10 代表十进制，16 代表十六进制；也可以用字母来表示数制，B 代表二进制，D 代表十进制，H 代表十六进制。

1. 二进制数的表示法

二进制计数法的特点是：

- (1) 以 2 为底，逢 2 进位。
- (2) 需要 2 个数字符号：0，1。

2. 十进制数的表示法

十进制计数法的特点是：

- (1) 以 10 为底，逢 10 进位。
- (2) 需要 10 个数字符号 0，1，2，…，9。

3. 十六进制数的表示法

十六进制计数法的特点是：

- (1) 以 16 为底，逢 16 进位。
- (2) 需要 16 个数字符号 0, 1, 2, ..., 9, A, B, C, D, E, F。

表 1.1 列出了一些自然数在十进制、二进制及十六进制三种不同数制中的对照关系。

表 1.1 部分自然数的三种进制表示

十进制	二进制	十六进制	十进制	二进制	十六进制
0	0	0	12	1100	C
1	1	1	13	1101	D
2	10	2	14	1110	E
3	11	3	15	1111	F
4	100	4	16	10000	10
5	101	5	17	10001	11
6	110	6	18	10010	12
7	111	7	19	10011	13
8	1000	8	20	10100	14
9	1001	9	32	100000	20
10	1010	A	100	1100100	64
11	1011	B	1000	1111101000	3E8

二、数制之间的转换

下面介绍两种最常用的进制转换。

1. 十进制数转换成二进制数

十进制数 $\rightarrow$ 二进制数：整数部分除 2 取余；小数部分乘 2 取整。

例 1.1 将 $(58)_{10}$ 和 $(0.8125)_{10}$ 转换成二进制。

2	58	余数	
2	29	.....	0
2	14	.....	1
2	7	.....	0
2	3	.....	1
2	1	.....	1
	0	.....	1

$\uparrow$
余数倒联

0.8125	
$\times$	2
[1.]6250	
$\times$	2
[1.]2500	
$\times$	2
[0.]5000	
$\times$	2
[1.]0000	

$\downarrow$
整数正联

$$(58)_{10}=(111010)_2$$

$$(0.8125)_{10}=(0.1101)_2$$

2. 二进制数与十六进制数之间的转换

二进制数 $\rightarrow$ 十六进制数：以小数点为基准向左或向右，每 4 位为一组（若不足 4 位则补

0）用 1 个十六进制数字表示。

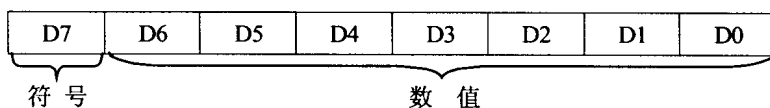
十六进制数→二进制数：把每个十六进制数字用 4 位二进制数表示。

例 1.2 将 $(111010.1101)_2$ 转换成十六进制数。

$$(111010.1101)_2 = \underbrace{0011}_3 \underbrace{1010}_B \underbrace{1101}_D = (3B.D)_{16}$$

1.1.3 数在计算机内的表示

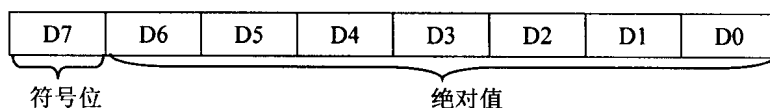
计算机中的数通常有两种：无符号数和有符号数。无符号数由于不带符号，表示时比较简单，直接用它对应的二进制数形式表示，例如，假设机器字长为 8 位，即一个数据用 8 位（二进制）来表示，123 表示成 01111011B。有符号数带有正负号，通常在计算机中表示有符号数时，将数的前面一位作为符号位。正数表示为 0，负数表示为 1，其余的位用以表示数的大小。这种连同符号位一起作为一个数，称为机器数，它的数值称为机器数的真值。假设机器字长为 8 位，有符号数格式如下：



机器数在计算机中有三种表示法：原码、反码和补码。

一、原码

原码表示时，最高位为符号位，正数用 0 表示，负数用 1 表示，其余的位用于表示数的绝对值。假设机器字长为 8 位，一个数原码格式如下：



对于一个 n 位的二进制数，它的原码表示范围为 $-(2^{n-1}-1) \sim +(2^{n-1}-1)$ ，例如：如果用 8 位二进制表示原码，则数的范围为 $-127 \sim +127$ 。

例 1.3 求 +67、-25 的原码（机器字长为 8 位）。

因为 $|+67| = 67 = 1000011B$

$|-25| = 25 = 11001B$

所以 $[+67]_{\text{原}} = 01000011B$

$[-25]_{\text{原}} = 10011001B$

二、反码

反码表示时，最高位为符号位，正数用 0 表示，负数用 1 表示，正数的反码与原码相同，而负数的反码可在原码的基础之上，符号位不变，其余位取反得到。

对于一个 n 位的二进制数，它的反码表示范围为 $-(2^{n-1}-1) \sim +(2^{n-1}-1)$ ，对于 0，假设机器字长为 8 位，-0 的反码为 11111111B，+0 的反码为 00000000B。

例 1.4 求 +67、-25 的反码（机器字长为 8 位）。

因为 $[+67]_{\text{原}} = 01000011B$

$[-25]_{\text{原}} = 10011001B$

所以 $[+67]_{\text{反}} = 01000011B$

$$[-25]_{\text{反}}=11100110\text{B}$$

三、补码

补码表示时，最高位为符号位，正数用 0 表示，负数用 1 表示，正数的补码与原码相同，而负数的补码可在原码的基础之上，符号位不变，其余位取反，末位加 1 得到。对于一个负数 X，X 的补码也可用 $2^n - |X|$ 得到，其中 n 为计算机字长。

例 1.5 求 +67、-25 的补码（机器字长为 8 位）。

因为 $[+67]_{\text{原}}=01000011\text{B}$

$[-25]_{\text{原}}=10011001\text{B}$

所以 $[+67]_{\text{补}}=01000011\text{B}$

$[-25]_{\text{补}}=11100111\text{B}$

四、补码的加减运算

补码的加法运算规则：

$$[X+Y]_{\text{补}}=[X]_{\text{补}}+[Y]_{\text{补}}$$

$$[X-Y]_{\text{补}}=[X]_{\text{补}}+[-Y]_{\text{补}}$$

对于 $[-Y]_{\text{补}}$ ，也可以由 $[Y]_{\text{补}}$ 求出。即把 $[Y]_{\text{补}}$ 的符号与数值位一起取反，末位加 1，结果就等于 $[-Y]_{\text{补}}$ 。

例 1.6 假设计算机字长为 8 位，完成下列补码运算：

1. $25+32$

$$\begin{array}{r} [25]_{\text{补}}=00011001\text{B} \quad [32]_{\text{补}}=00100000\text{B} \\ \phantom{[25]_{\text{补}}=00011001\text{B}} [25]_{\text{补}}=00011001 \\ + \phantom{[25]_{\text{补}}=00011001\text{B}} [32]_{\text{补}}=00100000 \\ \hline 00111001 \end{array}$$

所以 $[25+32]_{\text{补}}=[25]_{\text{补}}+[32]_{\text{补}}=00111001\text{B}=[57]_{\text{补}}$

2. $25+(-32)$

$$\begin{array}{r} [25]_{\text{补}}=0011001\text{B} \quad [-32]_{\text{补}}=11100000\text{B} \\ \phantom{[25]_{\text{补}}=0011001\text{B}} [25]_{\text{补}}=00011001 \\ + \phantom{[25]_{\text{补}}=0011001\text{B}} [-32]_{\text{补}}=11100000 \\ \hline 11111001 \end{array}$$

所以 $[25+(-32)]_{\text{补}}=[25]_{\text{补}}+[-32]_{\text{补}}=11111001\text{B}=[-7]_{\text{补}}$

五、十进制数的表示

十进制是人们在生活中最习惯的数制，人们通过键盘向计算机输入数据时，常用十进制数输入，显示器向人们显示的数据也多为十进制形式。但计算机能直接识别与处理的是二进制数，所以就必须对十进制进行编码。十进制编码又称为 BCD 码。常用的 8421BCD 码如表 1.2 所示。

其中 BCD 码又分压缩 BCD 码和非压缩 BCD 码。压缩 BCD 码又称为 8421BCD 码，它是用 4 位二进制编码来表示一位十进制符号。非压缩 BCD 码是用 8 位二进制数来表示 1 位十进制符号，其中低 4 位二进制编码与压缩 BCD 码相同，高 4 位任取。

表 1.2 常用的 BCD 码

十进制数	BCD 码	十进制数	BCD 码
0	0000B	5	0101B
1	0001B	6	0110B
2	0010B	7	0111B
3	0011B	8	1000B
4	0100B	9	1001B

例如，十进制数 124 的压缩 BCD 码为 0001 0010 0100；十进制数 4.56 的压缩 BCD 码为 0100.0101 0110；十进制数 124 的非压缩 BCD 码为 0000 0001 0000 0010 0000 0100。

1.1.4 字符在计算机内的表示

在计算机中除了数值之外，还有一类非常重要的数据，那就是字符，如英文的大小写字母 (A, B, C, …, a, b, c, …)、数字符号 (0, 1, 2, …, 9) 以及其他常用符号 (如: ? 、 =、%、+等)。在计算机中，这些符号都是用二进制编码的形式表示。

现在的计算机中字符数据的编码通常采用的是美国信息交换标准代码 ASCII 码 (American Standard Code for Information Interchange)。基本 ASCII 码标准定义了 128 个字符，用 7 位二进制来编码。ASCII 码常用于计算机与外部设备的数据传输。如通过键盘的字符输入，通过打印机或显示器的字符输出。常用字符的 ASCII 码如表 1.3 所示。

表 1.3 常用字符的 ASCII 码

字符	ASCII 码	字符	ASCII 码	字符	ASCII 码	字符	ASCII 码
0	30H	A	41H	a	61H	SP (空格)	20H
1	31H	B	42H	b	62H	CR (回车)	0DH
2	32H	C	43H	c	63H	LF (换行)	0AH
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	BEL (响铃)	07H
9	39H	Z	49H	z	7AH	BS (退格)	08H

1.2 单片机基础

1.2.1 单片机及其应用系统

一、单片机

单片机是指集成在一个芯片上的微型计算机，也就是把组成微型计算机的各种功能部件，包括 CPU (Central Processing Unit)、随机存取存储器 RAM (Random Access Memory)、只读存储器 ROM (Read-Only Memory)、基本输入/输出 (Input/Output) 接口电路、定时器/计数器等部件都制作在一块集成芯片上，构成一个完整的微型计算机，从而实现微型计算机的基本功能。单片机内部结构示意图如图 1.1 所示。

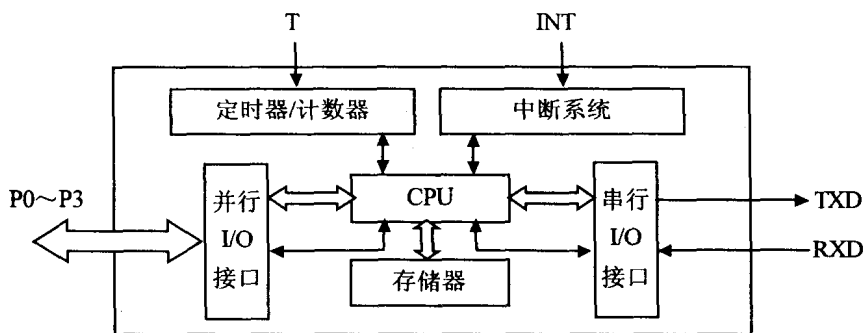


图 1.1 单片机内部结构示意图

单片机实质上是一个集成电路芯片。在实际应用中，通常将单片机芯片外加各种扩展接口电路、外部设备、被控对象等硬件和软件，构成一个单片机应用系统。

二、单片机应用系统

单片机应用系统是以单片机为核心，配以输入/输出、显示、控制等外围电路和软件，能实现一种或多种功能的实用系统。单片机应用系统由硬件和软件两部分组成，硬件是应用系统的基础，软件则在硬件的基础上对其资源进行调配和使用，从而完成应用系统所要求的控制任务，二者缺一不可。单片机应用系统的组成如图 1.2 所示。

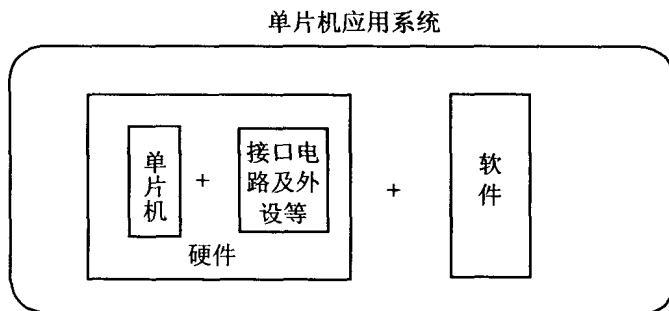


图 1.2 单片机应用系统组成图

单片机应用系统开发人员必须从硬件和软件两个角度来深入了解和掌握单片机技术，并将二者有机结合起来，才能够实现或完成具有特定功能的单片机应用系统或整机产品。

1.2.2 单片机分类

目前单片机品种很多，至少有五十多个系列、三百多个品种。可按以下方式进行分类：

一、按字长分

1. 4 位单片机——控制功能较弱，CPU 一次只能处理 4 位二进制数。典型产品有：NEC 公司的 UPD75XX 系列、NS 公司的 COP400 系列、夏普公司的 SMXX 系列等等。

2. 8 位单片机——控制功能较强，品种最为齐全。典型产品有：Intel 公司的 MCS-48 系列和 MCS-51 系列、Microchip 公司的 PIC16CXX 系列和 PIC17CXX 系列以及 PIC1400 系列、Motorola 公司的 M68HC05 系列和 M68HC11 系列、Zilog 公司的 Z8 系列等等。