

普通高等教育机电类“十三五”规划教材

单片机技术及 C51 程序设计 (第 2 版)

唐颖 阮越 主编
程菊花 任条娟 谭保华 副主编
黄震梁 参编

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

全书分为 11 章，内容包括单片机的基本概念、MCS-51 系列单片机内部结构、指令系统和汇编语言程序设计、Keil C51 语法及程序设计、MCS-51 系列单片机内部硬件资源及应用、系统功能的扩展、键盘与显示接口、A/D 与 D/A 转换接口、单片机的其他接口、综合应用实例、单片机应用系统设计等。第 1~4 章主要介绍 MCS-51 单片机的内部结构、指令系统和 C51 结构，从第 5 章开始介绍 MCS-51 系列单片机的接口及应用。

本书除了在第 1~9 章中给出许多相关实例，还专门在第 10、11 章，给出了大量的设计性实例和系统设计实例。本书中的实例一般采用汇编语言与 C 语言编程对照的方式编写，仅在第 10、11 章较复杂的实例中采用 C 语言编程。力求通过应用实例，使读者在学习过程中既可以进行类比编程，又可以开阔思路，提高实际编程效率和工作能力。

本书按照培养应用型本科人才的教学要求编写，语言通俗易懂，内容翔实、实用性强。适合作为各类普通高校相关专业、相关课程的教材或教学参考书，也可作为需要使用单片机技术的工程技术人员的实用参考书。

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

单片机技术及 C51 程序设计/唐颖, 阮越主编. —2 版. —北京: 电子工业出版社, 2017.1
普通高等教育机电类“十三五”规划教材
ISBN 978-7-121-30503-0

I. ①单… II. ①唐…②阮… 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(2016)第 287103 号

责任编辑: 郭穗娟

印 刷:

装 订:

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: 20.5 字数: 525 千字

版 次: 2012 年 6 月第 1 版

2017 年 1 月第 2 版

印 次: 2017 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 45.00 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 zlls@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询方式: (010)88254502, guosj@phei.com.cn

第 2 版前言

随着单片机制造技术的飞速发展及其开发条件的普及,单片机开发的产品已广泛地应用在家电、通信、医疗设备、工业控制、航空航天和军事方面。其中, MCS-51 系列单片机是各高校进行单片机教学的典型机型,在我国得到了较广泛的应用。为了适应本科单片机课程的应用性教学改革及缩小学校教学和企业应用之间的距离,2012 年编者在电子工业出版社的大力支持下,出版了本书第 1 版。第 1 版教材以传统的汇编语言与单片机 C 语言对照编程的方式,介绍了 MCS-51 系列单片机的原理、结构及应用设计,较好地达到了通过汇编程序设计帮助学生更好地理解单片机的内部结构与特性,并通过 C 语言程序设计提高学生的综合设计与实际应用能力的教学目的。

本书第 1 版经过在 4 年多的使用,编者也感到了原内容在单片机接口应用和多方位实例介绍等方面还存在不足。因此,借《单片机技术及 C51 程序设计(第 2 版)》教材出版的机会,针对原教材的不足之处进行了修订,具体修改内容如下:

(1) 为了加强大部分初学者对数字、字符等信息在计算机内存储方式的认知,在第 1 章“基础知识”中增加了一节“信息在计算机中的表示方法”,重点介绍补码在计算机运算中的应用特点。

(2) 在实际应用中,常常会碰到需要汇编语言与 C 语言和混合编写的问题。因此在第 4 章中增加了一节“汇编语言与 C 语言混合编程”,重点介绍汇编语言与 C 语言混合编程的编程规则。

(3) 为了加强读者对单片机内部硬件资源的理解和应用,在第 5 章中对中断系统和定时/计数器的实例进行了增加与修改,以求更全面、更详尽地介绍它们的设计和应用方式。

(4) 为使教学内容更符合学生的认知过程,在对第 4、7 章中的内容进行局部修改的基础上对部分小节的顺序进行了调整。

(5) 为了加强对单片机外部接口应用的教学,使学生更多地接触各类常用的接口器件,在介绍基本接口(按键、LED 数码管、A/D 转换器、D/A 转换器)的基础上,增加了第 9 章“MCS-51 系列单片机的其他接口”的内容。在这章中主要介绍了常用的单片机与液晶显示器、时钟日历芯片、I²C 总线芯片的接口及编程方法,为开展单片机综合设计及接口应用的实践教学提供了方便。

(6) 注重实践能力的培养是本教材编写的出发点。为使读者更好地掌握各章节的内容和知识点,对每章后的习题进行了精心的编排,增加一些章节的习题量,使其能尽量涵盖所学的知识点,起到复习和巩固知识的作用。

本书由浙江树人大学的唐颖、阮越、程菊花、任条娟、黄震梁和湖北工业大学的谭保华共同编写。全书由唐颖、阮越主编并统稿。在本书的编写过程中,借鉴了许多教材的宝贵经验,在此谨向这些作者表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限,时间仓促,不妥之处在所难免,衷心希望广大读者批评指正。

编者

2016年10月

电子工业出版社版权所有
盗版必究

第 1 版前言

MCS-51 系列单片机是各高校进行单片机教学的典型机型，在我国得到了较广泛的应用。以往单片机原理及应用课程的教学基本上都是采用汇编语言进行讲解和设计程序的，虽然汇编语言编写程序具有对硬件操作方便，编写的程序代码短、实时性强等优点，但可读性和可移植性都较差。

当前，单片机的种类很多，企业选用的单片机也不尽相同，而各大学所讲授的大多是 51 系列单片机。由于不同种类单片机的指令系统不同，汇编语言不能通用，且编程繁杂。为培养能尽快适应社会需求的应用型技术人才，使毕业生到企业后，面对各种不同类型的单片机，不需要经过再学习就能直接上手，我们对单片机的教学进行了改革，根据掌握知识结构的规律和实际应用的要求，在单片机的教学内容中增加了用 C 语言程序设计实现单片机应用的内容，使教学能更紧密地与企业人才需求相结合。

单片机技术是一门应用性很强的专业课，其理论和实践技能是从事电类专业技术人员所不可缺少的。作者多年从事“单片机原理及应用”课程的教学与实践指导，因此希望能将其教学积累加入教材，对教材进行重新改编。本教材中单片机的机型选用 51 系列单片机，结合目前应用非常广泛的 C51 程序设计及 Keil C51 编译器，在汇编程序设计的基础上，增加了用 C 语言进行单片机程序设计的内容，且加入 C51 编程方法的教学与实践，以配合教学内容的改革。

在教材的编写中，作者非常重视理论与实践的密切结合。书中给出了很多应用实例，且采用汇编语言与 C 语言对照编程的方法，力图通过汇编程序设计来帮助学生更好地理解和掌握单片机的内部结构与特性，同时通过 C 语言程序设计来提高学生的综合设计和实际应用能力。

本教材的特点主要体现在：

(1) 深入浅出地介绍单片机内部结构和指令系统，通过简单的汇编程序理解和加深对单片机内部结构，特别是存储器和并行口的理解。

(2) 增加单片机 C 语言应用程序设计内容，注重实例的引导。在程序设计的编写中，采用由实例引导，总结、归纳语法的方式，轻松地引导读者进入 C 语言编程的环境，尽量减少枯燥和压力感。

(3) 在单片机接口、应用等章节中，同一示例的讲解分别采用汇编和 C 语言两种编程方式进行对比，以达到能同时兼顾汇编语言和 C 语言两个方面的教学目的。

(4) 注重实践能力的培养。本书除了在每个应用章节中给出许多的相关实例，还专门组织了第 9、10 章，给出大量的设计性实例和系统设计实例，作为前几章学习后的综合应用，供实验、课程设计及学生课外设计时参考。

本书由浙江树人大学的唐颖、程菊花、任条娟、谭保华、黄震梁、阮越共同编写。其中第 1、2、7、8 章由唐颖编写，第 5、6 章由程菊花编写，第 3 章由任条娟编写，第 4 章及 10 章的部分章节由黄震梁编写，第 9、10 章的部分章节由阮越编写，由唐颖主编并统稿完成。在本书的编写过程中，借鉴了许多教材的宝贵经验，在此谨向这些作者表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限，时间仓促，不妥之处在所难免，衷心希望广大读者批评指正。

编 者
2012 年 2 月

电子工业出版社版权所有
盗版必究

目 录

第 1 章 基础知识	1
1.1 信息在计算机中的表示方法	1
1.1.1 数在计算机内的表示	1
1.1.2 字符在计算机内的表示	5
1.2 单片机的基本概念和特点	5
1.2.1 基本概念	5
1.2.2 单片机的主要特点	6
1.3 单片机的发展概况及应用领域	7
1.3.1 发展概况	7
1.3.2 单片机的应用	10
1.4 单片机主要类型介绍及分类	10
1.4.1 常用系列单片机产品及性能简介	10
1.4.2 MCS-51 系列单片机分类	12
1.4.3 AT89 系列单片机分类	14
1.4.4 其他公司的 51 系列单片机	15
本章小结	15
习题 1	16
第 2 章 MCS-51 系列单片机的内部结构和引脚	17
2.1 MCS-51 系列单片机内部结构和引脚说明	17
2.1.1 MCS-51 系列单片机内部结构框图	18
2.1.2 MCS-51 系列单片机外部引脚说明	21
2.2 MCS-51 系列单片机存储器	23
2.2.1 程序存储器	24
2.2.2 数据存储器	25
2.3 MCS-51 系列单片机并行 I/O 接口	28
2.3.1 P0 口结构及功能	29
2.3.2 P1 口结构及功能	30
2.3.3 P2 口结构及功能	30
2.3.4 P3 口结构及功能	31
2.4 MCS-51 系列单片机的时钟电路与时序	32
2.4.1 时钟电路	32
2.4.2 CPU 时序	32

2.4.3	MCS-51 系列单片机的复位电路	34
2.4.4	MCS-51 系列单片机的掉电和节电方式	35
	本章小结	37
	习题 2	37
第 3 章	MCS-51 系列单片机指令系统和汇编语言程序设计	39
3.1	指令系统基本概念	39
3.1.1	指令基本格式	39
3.1.2	指令分类	40
3.1.3	指令描述符号介绍	40
3.2	MCS-51 系列单片机的寻址方式	41
3.3	MCS-51 系列单片机的指令系统	43
3.3.1	数据传送类指令	44
3.3.2	算术运算类指令	50
3.3.3	逻辑运算及移位指令	56
3.3.4	位操作类指令	59
3.3.5	控制转移类指令	62
3.4	汇编程序设计示例	67
3.4.1	汇编程序伪指令	68
3.4.2	顺序程序	69
3.4.3	分支程序	71
3.4.4	循环程序	73
3.4.5	查表程序	78
3.4.6	散转程序	79
3.4.7	子程序	80
	本章小结	83
	习题 3	83
第 4 章	Keil C51 语法及程序设计	88
4.1	C 语言与 MCS-51 系列单片机	88
4.1.1	C 语言的特点及程序结构	88
4.1.2	C 语言与 MCS-51 系列单片机	90
4.2	C51 程序结构及数据类型	91
4.2.1	C51 程序结构	91
4.2.2	C51 的数据类型	91
4.3	C51 的存储种类及存储区	94
4.3.1	常量	94
4.3.2	变量	95
4.3.3	C51 存储模式	98
4.3.4	绝对地址访问	99
4.4	C51 构造数据类型	101
4.4.1	数组	101

4.4.2	指针	103
4.4.3	结构	106
4.4.4	联合	109
4.4.5	枚举	111
4.5	C51 运算符与表达式	111
4.5.1	赋值运算	111
4.5.2	算术运算符	112
4.5.3	关系运算符	112
4.5.4	逻辑运算符	112
4.5.5	位运算符	113
4.5.6	复合赋值运算符	113
4.5.7	逗号运算符	114
4.5.8	条件运算符	114
4.5.9	指针与地址运算符	114
4.6	表达式语句及复合语句	115
4.6.1	表达式语句	115
4.6.2	复合语句	116
4.7	C51 的输入/输出	116
4.7.1	格式输出函数 printf()	117
4.7.2	格式输入函数 scanf()	117
4.8	C51 程序基本结构与相关语句	118
4.8.1	C51 的基本结构	118
4.8.2	if 语句	120
4.8.3	switch/case 语句	120
4.8.4	while 语句	121
4.8.5	do...while 语句	122
4.8.6	for 语句	123
4.8.7	循环的嵌套	123
4.8.8	break 和 continue 语句	124
4.8.9	return 语句	125
4.9	函数	125
4.9.1	函数的定义	125
4.9.2	函数的调用与声明	128
4.9.3	函数的嵌套与递归	130
4.10	汇编语言与 C 语言混合编程	131
	本章小结	136
	习题 4	136
第 5 章	MCS-51 系列单片机内部硬件资源及应用	138
5.1	MCS-51 系列单片机的并行 I/O 接口	138
5.1.1	端口输入/输出操作	138

5.1.2	I/O 接口的位操作指令	139
5.1.3	并行口应用举例	139
5.2	中断系统	141
5.2.1	中断的基本概念	141
5.2.2	MCS-51 系列单片机的中断系统	141
5.2.3	MCS-51 系列单片机中断系统的应用	146
5.3	MCS-51 系列单片机的定时/计数器	150
5.3.1	定时/计数器的结构与工作原理	150
5.3.2	定时/计数器的工作方式	152
5.3.3	定时/计数器的应用	154
5.4	MCS-51 系列单片机的串行口及串行通信	159
5.4.1	串行通信的基本概念	160
5.4.2	MCS-51 系列单片机的串行口及控制寄存器	162
5.4.3	MCS-51 系列单片机串行通信工作方式	164
5.4.4	串行口应用举例	166
	本章小结	176
	习题 5	177
第 6 章	MCS-51 系列单片机系统功能的扩展	178
6.1	单片机最小应用系统	178
6.2	存储器的扩展	179
6.2.1	程序存储器的扩展	180
6.2.2	数据存储器的扩展	182
6.2.3	存储器综合扩展举例	183
6.3	I/O 接口扩展	184
6.3.1	简单 I/O 接口扩展	185
6.3.2	用串行口扩展并行 I/O 接口	186
6.3.3	可编程 I/O 接口扩展	187
	本章小结	192
	习题 6	192
第 7 章	MCS-51 系列单片机键盘与显示器接口	193
7.1	MCS-51 系列单片机与键盘的接口	193
7.1.1	键盘的工作原理与扫描方式	193
7.1.2	独立式按键及接口	195
7.1.3	矩阵式键盘及接口	198
7.2	MCS-51 系列单片机与 LED 数码管显示接口	203
7.2.1	LED 数码管的结构与原理	203
7.2.2	LED 数码管显示方式	205
7.2.3	LED 数码管显示接口典型应用电路	206
7.3	键盘、LED 数码管组合接口	213
	本章小结	217

习题 7.....	218
第 8 章 MCS-51 系列单片机与 A/D、D/A 转换器接口.....	219
8.1 MCS-51 系列单片机与 A/D 转换器接口.....	219
8.1.1 A/D 转换器 ADC0809 简介.....	220
8.1.2 ADC 0809 与 MCS-51 系列单片机的接口.....	221
8.1.3 AD574 转换器与 51 系列单片机的接口.....	224
8.2 MCS-51 系列单片机与 D/A 转换接口.....	226
8.2.1 D/A 转换器 DAC0832 简介.....	227
8.2.2 DAC0832 与 51 型单片机的接口实例.....	229
本章小结.....	232
习题 8.....	233
第 9 章 MCS-51 系列单片机的其他接口.....	234
9.1 LCD 显示模块与 MCS-51 系列单片机的接口.....	234
9.1.1 字符点阵式液晶显示器.....	234
9.1.2 RT-1602C 液晶显示模块与单片机的接口.....	239
9.1.3 图形点阵式液晶显示器 LCD12864 简介.....	243
9.2 时钟日历芯片与 MCS-51 系列单片机的接口.....	248
9.2.1 串行时钟日历芯片 DS1302 简介.....	248
9.2.2 DS1302 与单片机接口.....	250
9.3 I ² C 总线芯片与 MCS-51 系列单片机的接口.....	254
9.3.1 I ² C 总线简介.....	254
9.3.2 I ² C 总线 EEPROM 芯片与单片机接口.....	256
本章小结.....	261
习题 9.....	261
第 10 章 综合实例.....	262
10.1 流水灯的设计.....	262
10.2 简易报警发生器设计.....	264
10.3 外部负脉冲宽度测量电路.....	266
10.4 “航标灯”控制程序设计.....	267
10.5 99s 跑码表设计.....	269
10.6 独立式按键的应用.....	272
10.7 带数码显示的 A/D 转换电路.....	274
10.8 直流电机控制.....	276
10.9 步进电动机控制设计.....	280
习题 10.....	282
第 11 章 单片机应用系统设计.....	283
11.1 单片机应用系统的基本结构.....	283
11.1.1 单片机应用系统的硬件组成.....	283
11.1.2 硬件系统设计原则.....	284
11.1.3 单片机应用系统的软件设计.....	285

11.2	数字电子钟/日历系统设计实例	286
11.2.1	电子时钟/日历系统要求与设计方案	286
11.3	单片机遥控系统的应用设计	291
11.3.1	系统要求与设计方案	291
11.3.2	系统硬件电路的设计	291
11.3.3	系统程序设计	296
11.3.4	调试及性能分析	300
11.3.5	控制源程序清单	300
附录 A	MCS-51 系列单片机指令表	309
附录 B	ASCII 码	313
参考文献	314

电子工业出版社版权所有
盗版必究

第1章 基础知识

► 学习目标 ◀

通过本章学习，熟悉信息在计算机内的表示方法；了解单片机的基本概念、发展历史、常用型号、基本特点及应用范围，为单片机的选用和设计打下基础。

1.1 信息在计算机中的表示方法

单片机又称为微控制器，是微型计算机的一个分支。和所有计算机一样，其内部按二进制数进行运算，即计算机只认识 0、1。任何信息，不管是数字还是字符，在计算机中都是以二进制编码的形式表示和处理信息的。在学习计算机内部信息的处理及表示之前，我们先学习计算机中信息的表示方法。

1.1.1 数在计算机内的表示

数通常有两种：无符号数和有符号数。在计算机中这两种数的表示方法是不一样的。

无符号数：由于无符号数不带符号，表示时比较简单，直接用它对应的二进制形式表示即可。例如：假设计算机的机器字长为 8 位，则十进制数 100 表示为 01100100B。

有符号数：有符号数带有正负号，数学上用“+”表示正数，用“-”表示负数。由于计算机只能识别二进制符号，不能识别正、负号，因此在计算机中只能将正、负号数字化，用二进制数字来表示。通常，在计算机中表示有符号数时，在数的前面加一位作为符号位。0 表示正数，1 表示负数，其余的位用以表示数的大小。

这种连同符号位在一起作为一个数，称为机器数，它的数值称为机器数的真值。机器数的表示如图 1-1 所示。

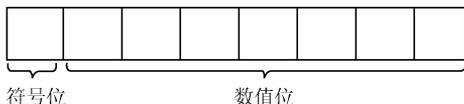


图 1-1 机器数的表示

为了运算方便，机器数在计算机中有三种表示法：原码、反码和补码。

1. 原码

用原码表示时，最高位是符号位，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。原码的表示如图 1-2 所示。

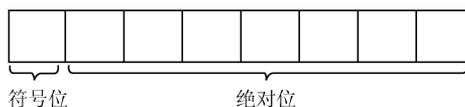


图 1-2 原码的表示

用原码表示时, 由于最高位用作符号位, 剩下的位就作为数的绝对值位。对正数来说, 正数的符号位为 0, 因此正数的表示与它对应的无符号数表示是相同的。但对负数来说, 负数的符号位为 1, 负数的表示就与其对应的无符号数的表示是不相同的。

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

要注意的是对 0 的表示, 用原码表示时, 对于 -0 和 +0 的编码是不一样的。假设机器的字长是 8 位, 则 -0 的编码是 10000000B, +0 的编码是 00000000B。

【例 1-1】 求带符号数 +83、-34 的原码 (设机器字长为 8 位)。

解: 因为 $|+83| = 83 = 01010011\text{B}$
 $|-34| = 34 = 00100010\text{B}$

所以 $[+83]_{\text{原}} = 01010011\text{B}$
 $[-34]_{\text{原}} = 10100010\text{B}$

2. 反码

用反码表示时, 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, 而负数的反码在原码的基础上, 符号位不变, 对其余位取反而得到。

反码数的表示范围与原码相同, 对一个 n 位的二进制, 它的反码表示范围是 $-(2^{n-1}-1) \sim +(2^{n-1}-1)$ 。

要注意的是对 0 的表示, 用反码表示时, 对于 -0 和 +0 的编码是不一样的。假设机器的字长是 8 位, 则 -0 的反码是 11111111B, +0 的反码是 00000000B。

【例 1-2】 求带符号数 +83、-34 的反码 (设机器字长为 8 位)。

解: 因为 $[+83]_{\text{原}} = 01010011\text{B}$
 $[-34]_{\text{原}} = 10100010\text{B}$

所以 $[+83]_{\text{反}} = 01010011\text{B}$
 $[-34]_{\text{反}} = 11011101\text{B}$

3. 补码

补码的概念: 我们把一个计量系统的计数范围称为“模”。如时钟的计量范围是 $1 \sim 12$, 模=12。表示 n 位的计算机计量范围是 $0 \sim 2^n - 1$, 模= 2^n 。“模”实质上是计量器产生“溢出”的量, 它的值在计量器上表示不出来, 计量器上只能表示出模的余数。任何有“模”的计量器, 均可化减法为加法运算。

例如: 设当前时针指向 10 点, 而准确时间是 6 点, 调整时间可有以下两种拨法: 一种是逆时针拨 4 小时, 即 $10 - 4 = 6$; 另一种是顺时针拨 8 小时: $10 + 8 = 12 + 6 = 6$ 。在模“12”的系统中, 加 8 和减 4 效果是一样的, 因此凡是减 4 运算, 都可以用加 8 来代替 (不计溢出)。对“模”12 而言, 8 和 4 互为补数。实际上在以模为 12 的系统中, 11 和 1, 10 和 2, 9 和 3, 7 和 5, 6

和 6 都有这个特性。共同的特点是两者相加等于模。

对于计算机，其概念和方法完全一样。计算机也可以看成一个计量机器，它也有一个计量范围，即都存在一个“模”。例如有一个 n 位计算机，设 $n=8$ ，所能表示的最大数是 11111111 加 1 称为 100000000 (9 位)，但因为只有 8 位，最高位 1 自然丢失。又回了 00000000，所以 8 位二进制系统的模是 2^8 。在这样的系统中减法问题也可以化成加法问题，只需把减数用相应的补数表示就可以了。

用补码表示时，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，而负数的补码则在原码的基础上，符号位不变，其余位取反，末位加 1 得到。

【例 1-3】 求带符号数 +83、-34 的补码 (设机器字长为 8 位)。

解：因为 $[+83]_{\text{原}}=01010011\text{B}$
 $[-34]_{\text{原}}=10100010\text{B}$

所以 $[+83]_{\text{补}}=01010011\text{B}$
 $[-34]_{\text{补}}=11011110\text{B}$

对于一个负数 X ， X 的补码也可以用 $2^n - |X|$ 得到，其中 n 为计算机的字长。

例如： $[+34]_{\text{补}}=[+34]_{\text{原}}=00100010\text{B}$
 $[-34]_{\text{补}}=2^8 - |-34| = 100000000 - 00100010 = 110011110\text{B}$

另外，对于计算补码，还可以用一种求补运算的方法求得。

求补运算法：一个二进制数，符号位和数值位一起取反，末位加 1。

求补运算具有以下特点：

对于一个数 X ，

$$[X]_{\text{补}} \xrightarrow{\text{求补}} [-X]_{\text{补}} \xrightarrow{\text{求补}} [X]_{\text{补}}$$

那么，已知正数的补码，则可以通过求补运算求得对应负数的补码。反之，已知负数的补码也可以通过求补运算求得对应正数的补码。

【例 1-4】 已知 +34 的补码是 00100010B，用求补运算求 -34 的补码。

因为

$$[34]_{\text{补}} \xrightarrow{\text{求补}} [-34]_{\text{补}}$$

所以

$$[-34]_{\text{补}}=11011101+1=11011110\text{B}$$

补码数的表示范围：对一个 n 位的二进制，其补码的表示范围是 $-(2^{n-1}) \sim +(2^{n-1}-1)$ 。

补码表示时，对于 -0 和 +0 的补码是相同的，设机器的字长为 8 位，则 0 的补码是 00000000B。

在计算机中，有符号数的表示都用补码表示，补码表示时运算简单。

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 $[-Y]_{\text{补}}$ 只要求 $[Y]_{\text{补}}$ 就可以得到。由此，通过补码进行加减运算非常简单，而且能把减法转换成加法，得到正确的结果。

4. 十进制数的表示

计算机内部是按二进制方式对信息进行处理的，但人们在生活中习惯使用十进制。为了处

理方便, 在计算机中也提供了针对十进制的编码形式。针对十进制的编码又称为“二-十进制编码”, 简称 BCD 码, 分为压缩 BCD 码和非压缩 BCD 码。

1) 压缩 BCD 码

用四位二进制来表示十进制中的 0~9 共十个数码。8421 BCD 码是最基本、最常用的压缩 BCD 码, 它和自然的二进制码相似, 各位的权值(二进制数码每位的值称为权或位权)分别为 8, 4, 2, 1, 故称为有权码。和自然二进制码不同的是, 它只选了四位二进制码中的前十组代码, 即用 0000~1001 分别表示它所对应的十进制数的十个码元 0,1,2~9; 余下的 1010~1111 六种组合不使用。压缩 BCD 码编码情况见表 1-1。

表 1-1 压缩 BCD 编码

十进制符号	压缩 BCD 编码	十进制符号	压缩 BCD 编码
0	0000	5	0101
1	0001	6	0110
2	0010	7	0111
3	0011	8	1000
4	0100	9	1001

用压缩 BCD 码表示十进制数, 只要把每个十进制符号用对应的四位二进制编码代替即可。例如: 十进制数 234 的压缩 BCD 码为 0010 0011 0100。十进制数 6.78 的压缩 BCD 码为 0110.0111 1000。

2) 非压缩 BCD 码

用一个字节(8 位二进制)来表示一位十进制符号, 其中高 4 位的内容不做规定(也有部分书籍要求为 0, 二者均可), 低 4 位二进制编码表示该位十进制数。即每一位十进制符号须用八位二进制数表示。例如, 5 的非压缩型 BCD 码是 0000 0101; 十进制数 56 的非压缩型 BCD 码是 00000101 00000110。

在下节中介绍的数字符号的 ASCII 码(American Standard Code for Information Interchange)也是一种非压缩的 BCD 码。例如数字字符“7”的 ASCII 码 37H(00110111)就是数 7 的非压缩 BCD 码(高 4 位的内容不做规定)。非压缩 BCD 码的编码情况见表 1-2。

表 1-2 非压缩 BCD 编码

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

1.1.2 字符在计算机内的表示

在计算机信息处理中，除了处理数字数据，还会涉及大量的字符数据，例如，从键盘上输入的信息或打印输出的信息都是以字符方式进行输入/输出的。字符数据包括字母、数字、一些控制字符和专用字符等，这些字符在计算机中也是用二进制编码表示的。在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。基本 ASCII 码标准定义了 128 个字符，用七位二进制来编码，包括英文 26 个大写字母、26 个小写字母、10 个数字符号 0~9，还有一些控制符号（如换行、回车、换页等）及专用符号（如“:”、“!”、“%”等）。

计算机中一般以一个字节为单位，而 8 位二进制表示一个字节，字符 ASCII 码通常放于低 7 位，最高位一般补 0，在通信时，最高位作奇偶校验位。常用字符的 ASCII 码见附录 B。

1.2 单片机的基本概念和特点

自从 20 世纪 70 年代推出单片机以来，作为微型计算机的一个分支，经过四十多年的发展，单片机已经在各行各业得到了广泛的应用。由于单片机可靠性高、体积小、干扰能力强、能在恶劣的环境下工作，有较高的性价比，因此广泛应用于工业控制、仪器仪表智能化、机电一体化、家用电器等领域。

1.2.1 基本概念

计算机是应数值计算要求而诞生的。长期以来，电子计算机技术都是沿着满足海量高速数值计算要求的道路发展的。直到 20 世纪 70 年代，电子计算机在数字逻辑运算、推理、实际控制方面显露出非凡能力后，在工业控制领域开始对计算机技术发展提出了与传统海量高速数值计算完全不同的要求，这些要求如下所述。

(1) 面对控制对象。面对物理量传感变换的信号输入；面对人机交互的操作控制，面对对象的伺服驱动控制。

(2) 嵌入工控应用系统中的结构形态。

(3) 能在工业现场环境中可靠运行的可靠性品质。

(4) 突出控制功能。对外部信息及时捕捉；对控制对象能灵活地实时控制；有突出控制功能的指令系统，例如 I/O 接口控制、位操作、丰富的转移指令等。

将满足海量高速数值计算的计算机称为通用计算机系统；而将面对工控领域对象，嵌入到工控应用系统中，实现嵌入式应用的计算机称为嵌入式计算机系统，简称嵌入式系统 (Embedded System)。

与通用计算机系统相比，嵌入式系统最显著的特点是面对工控领域的测控对象。工控领域测量对象都是一些物理参量，例如力、热、速度、加速度、位移等；控制对象都是一些机械参量，这些参量要求嵌入式计算机系统采集、处理、控制的速度是有限的，而控制方式与控制能力的要求是无限的。在涉及 DSP (Digital Signal Processor) 领域的嵌入式系统也要求有高速处理能力，涉及多媒体技术的外设管理的通用计算机系统也要求有良好的控制能力，但两者的本质差别则是显而易见的，这从典型嵌入式系统——单片微机的“8 位机现象”中得到了证实。

从 1976 年 8 位单片微机诞生以来, 在单片微机领域中一直是以 8 位机为主流机型的, 预计这种情况还将继续下去。而与之相对应的通用计算机的 CPU 却迅速从 8 位过渡到 16 位、32 位、64 位。

嵌入式系统的出现, 特别是单片微机的出现, 是计算机技术发展史上的一个里程碑。嵌入式计算机系统与通用计算机系统形成了计算机技术发展的两大分支, 通用计算机系统全力实现海量高速数据处理, 兼顾控制功能; 嵌入式系统全力满足测控对象的测控功能, 兼顾数据处理能力。

单片机是将 CPU、存储器 (RAM 和 ROM)、定时器/计数器, 以及 I/O 接口等主要部件集成在一块芯片上的微型计算机。单片机是单片微机 (Single Chip Microcomputer) 的简称, 但准确反映单片机本质的叫法应是微控制器 MCU (Micro Controller Unit)。目前国外已普遍称为微控制器。鉴于它完全作为嵌入式应用, 故又称为嵌入式微控制器 (Embedded Microcontroller)。

单片微机从体系结构到指令系统都是按照嵌入式应用特点专门设计的, 它能最好地满足面对控制对象、应用系统的嵌入、现场的可靠运行, 以及非凡的控制品质要求。

目前, 单片微机中尚没有固化软件, 不具备自开发能力, 因此, 常需要有专门的开发工具。

1.2.2 单片机的主要特点

单片机作为微型计算机的一个分支, 与一般的微型计算机没有本质上的区别, 同样具有快速、精确、记忆功能和逻辑判断能力等特点。但单片机是集成在一块芯片上的微型计算机, 它与一般的微型计算机相比, 在硬件结构和指令设置上均有独到之处, 主要特点有以下几个方面。

(1) 目前大多数单片机采用哈佛 (Harvard) 结构体系, 存储器 ROM 和 RAM 是严格区分、相互独立的。ROM 称为程序存储器, 只存放程序、固定常数及数据表格。RAM 则为数据存储器, 用做工作区及存放用户数据。这是因为考虑单片机主要用于控制系统中, 面向测控对象, 通常有大量的控制程序和较少的随机数据, 需较大的程序存储器空间, 把开发的程序固化在 ROM 中, 而把少量的随机数据存放在 RAM 中。这样, 小容量的数据存储器能以高速 RAM 形式集成在单片机内, 以加速单片机的执行速度, 同时程序在只读存储器 ROM 中运行, 不易受外界侵害, 可靠性高。

(2) I/O 引脚通常是多功能的。由于单片机芯片上引脚数目有限, 为了解决实际引脚和需要的信号线的矛盾, 采用了引脚功能复用的方法。引脚处于哪种功能可由指令来设置或由机器状态来区分。

(3) 有面向控制的指令系统。为满足控制的需要, 一般单片机的指令系统中有极丰富的转移指令、I/O 接口的逻辑操作及位处理指令。因此, 单片机有更强的逻辑控制能力, 特别是具有很强的位处理能力。

(4) 外部扩展能力强。在内部的各种功能部分不能满足应用需求时, 均可在外部进行扩展, 例如扩展存储器、I/O 接口、定时/计数器、中断系统等, 可与许多通用的微机接口芯片兼容, 系统设计方便灵活。

1.3 单片机的的发展概况及应用领域

1.3.1 发展概况

1. 第一代：单片机探索阶段（1974—1978年）

工控领域对计算机提出了嵌入式应用要求，首先是实现单芯片形态的计算机，以满足构成大量中小型智能化测控系统要求。因此，这阶段的任务是探索计算机的单芯片集成。单片机（Single Chip Microcomputer）的定名即缘于此。

在计算机单芯片的集成体系结构的探索中有两种模式，即通用 CPU 模式和专用 CPU 模式。

（1）通用 CPU 模式。采用通用 CPU 和通用外围单元电路的集成方式。这种模式以 MOTOROLA 的 MC6801 为代表，它将通用 CPU、增强型的 6800 和 6875（时钟）、6810（128B RAM）、2X6830（1 KB ROM）、1/2 6821（并行 I/O）、1/3 6840（定时器/计数器）、6850（串行 I/O）集成在一个芯片上，且使用 6800CPU 的指令系统。

（2）专用 CPU 模式。采用专门为嵌入式系统要求设计的 CPU 与外围电路集成的方式。这种专用方式以 Intel 公司的 MCS-48 为代表，其 CPU、存储器、定时器/计数器、中断系统、I/O 口、时钟，以及指令系统都是按嵌入式系统要求专门设计的。

2. 第二代：单片微机完善阶段（1978—1983年）

计算机的单芯片集成探索，特别是专用 CPU 型单片机探索取得成功，肯定了单片微机作为嵌入式系统应用的巨大前景。典型代表是 Intel 公司将 MCS-48 迅速向 MCS-51 系列的过渡。MCS-51 是完全按照嵌入式应用而设计的单片微机，在以下几个重要技术方面完善了单片微机的体系结构。

（1）面向对象、突出控制功能、满足嵌入式应用的专用 CPU 及 CPU 外围电路体系结构。

（2）寻址范围规范为 16 位和 8 位的寻址空间。

（3）规范的总线结构。有 8 位数据总线、16 位地址总线，以及多功能的异步串行接口 UART（移位寄存器方式、串行通信方式及多机通信方式）。

（4）特殊功能寄存器（SFR）的集中管理模式。

（5）设置位地址空间，提供位寻址及位操作功能。

（6）指令系统突出控制功能，有位操作指令、I/O 管理指令及大量的转移指令。

以 MCS-51 系列 8 位单片机为代表，在片内其配置为 CPU 有 8 位；ROM 有 4KB 或 8KB；RAM 有 128B 或 256B；有串/并行接口；有 2 个或 3 个 16 位的定时/计时器；中断源有 5~7 个。在片外：寻址范围有 64KB；芯片引脚有 40 个。

3. 第三代：微控制器形成阶段

作为面对测控对象，不仅要求有完善的计算机体系结构，还要有许多面对测控对象的接口电路，如 ADC、DAC、高速 I/O 接口、计数器的捕捉与比较；保证程序可靠运行的 WDT（程序监视定时器）；保证高速数据传输的 DMA 等。这些为满足测控要求的外围电路，大多数已

超出了一般计算机的体系结构。为了满足测控系统的嵌入式应用要求,这一阶段单片微机的主要技术发展方向是满足测控对象要求的外围电路的增强,从而形成了不同于 Single Chip Microcomputer 特点的微控制器。微控制器 MCU (Micro Controller Unit) 一词缘于这一阶段,至今微控制器是国际上对单片机的标准称呼。

这阶段微控制器技术发展的主要方面有以下几个方面。

(1) 外围功能集成。满足模拟量输入的 ADC, 满足伺服驱动的 PWM, 满足高速 I/O 控制的高速 I/O 接口, 以及保证程序可靠运行的程序监视定时器 WDT。

(2) 出现了为满足串行外围扩展要求的串行扩展总线及接口, 如 SPI、I²C BUS、Microwire、1-Wire 等。

(3) 出现了为满足分布式系统、突出控制功能的现场总线接口, 如 CAN BUS 等。

(4) 在程序存储器方面则迅速引进 OTP 供应状态, 为单片机单片应用创造了良好的条件, 随后 FlashROM 的推广, 为最终取消外部程序存储器扩展奠定了良好的基础。

4. 第四代: 微控制器百花齐放

(1) 电气商、半导体商的普遍投入。

(2) 满足各种类型要求。

(3) 大力发展专用型单片机。

(4) 致力于提高单片微机综合品质。

第四代单片微机的百花齐放将单片微机用户带入了一个可广泛选择的时代。

5. 单片机技术发展方向

1) 主流机型发展趋势

在未来较长一段时期内, 8 位单片机仍是主流机型; 在满足高速数字处理方面, 32 位机则会发挥重要作用 (如 ARM7 处理器系列), 16 位机空间有可能被 8 位机、32 位机挤占。

2) 全盘 CMOS 化趋势

从第三代单片微机起开始淘汰非 CMOS 工艺。单片微机 CMOS 化给单片微机技术发展带来了广阔天地。最显著的变革是本质低功耗和低功耗管理技术的飞速发展。

3) RISC 体系结构的大发展

早期单片微机大多是 CISC 结构体系, 指令复杂, 指令代码、周期数不统一; 指令运行很难实现流水线操作, 大大阻碍了运行速度的提高。如果采用 RISC 体系结构, 那么精简指令后绝大部分成为单周期指令, 而且通过增加程序存储器的宽度 (如从 8 位增加到 10 位、12 位、14 位等), 实现一个地址单元存放一条指令。在这样的体系结构中, 很容易实现并行流水线操作, 其结果大大提高了指令运行速度。目前在一些 RISC 结构的单片微机已实现了一个时钟周期执行一条指令。

4) 大力发展专用型单片微机

专用单片微机是专门针对某一类产品系统要求而设计的。使用专用单片机可最大限度地简化系统结构; 资源利用效率最高。在大批量使用时有可观的经济效益和可靠性效益。

5) OTPROM、FlashROM 成为主流供应状态

早期程序存储器的供应状态主要是 ROM (掩模)、EPROM 和 ROMLess 三种型式。ROM 周期长、投资大, 无法更改; EPROM 型的芯片成本高; ROMLess 型的系统电路复杂。目前

绝大多数单片微机系列都可提供 OTPROM 型式, 其价格逐渐逼近掩模 ROM。OTPRM 可由用户编程, 软件升级、修改十分方便。FlashROM 则由于可多次编程, 系统开发阶段使用十分方便, 在小批量应用系统中广泛使用。

6) ISP 及基于 ISP 的开发环境

FlashROM 的发展, 推动了系统可编程 ISP (In System Programmable) 技术的发展。在 ISP 技术基础上, 首先实现了目标程序的串行下载, 促使模拟仿真开发方式的重新兴起; 在单时钟、单指令运行的 RISC 结构单片机中, 可实现 PC 通过串行电缆对目标系统的仿真调试。

7) 单片微机中的软件嵌入

随着单片微机程序空间的扩大, 会有许多空余空间, 在这些空间上可嵌入一些工具软件, 这些软件可大大提高产品开发效率, 提高单片微机性能。单片微机中嵌入软件的类型主要有以下几个方面。

(1) 实时多任务操作系统 RTOS (Real Time Operating System)。在 RTOS 支持下, 可实现按任务分配的规范化应用程序设计。

(2) 平台软件。可将通用子程序及函数库嵌入, 以供应用程序调用。

(3) 虚拟外设软件包。

(4) 其他用于系统诊断、管理的软件等。

8) 实现全面功耗管理

采用 CMOS 工艺后, 单片微机具有极佳的本质低功耗和功耗管理功能。它包括以下几个方面。

(1) 传统的 CMOS 单片微机低功耗运行方式, 即休闲方式 (Idle)、掉电方式 (Power Down)。

(2) 双时钟技术。配置有高速 (主时钟) 和低速 (子时钟) 两个时钟系统。在不需要高速运行时, 转入子时钟控制下, 以节省功耗。

(3) 高速时钟下的分频或低时钟下的倍频控制运行技术。

(4) 外围电路的电源管理。

(5) 低电压节能技术。

低功耗是便携式系统重要的追求目标, 是绿色电子的发展方向。低功耗的许多技术措施会带来许多可靠性效益, 也是低功耗技术发展的推动力。因此, 低功耗应是一切电子系统追求的目标。

9) 推行串行扩展总线

目前, 外围器件接口技术发展的一个重要方面是串行接口的发展。随着外围电路串行接口的发展, 单片微机串行扩展接口 (移位寄存器接口、SPI、I²C BUS、Microwire、1-Wire) 设置越来越普遍化、高速化, 采用串行总线接口方式越来越方便, 从而大大减少引脚数量, 简化系统结构。

10) ASMIC 技术的启动与发展

专用单片机的巨大优势会推动 ASMIC 技术的发展。ASMIC (Application Specific Microcontroller Integrated Circuit) 是以 MCU 为核心的专用集成电路 (ASIC), 与 ASIC 相比, 由于 ASMIC 是基于 MCU 的系统集成, 有较好的柔性, 是单片微机应用系统实现系统集成的重要途径。

1.3.2 单片机的应用

1. 单片机的应用特点

(1) 体积小, 成本低, 运用灵活, 性能价格比高, 易产品化: 研制周期短, 能方便地组成各种智能化的控制设备和仪器。

(2) 可靠性高, 抗干扰性强: BUS 大多在内部, 易采取电磁屏蔽; 适用温度范围宽, 在各种恶劣的环境下都能可靠地工作。

(3) 实时控制功能强: 实时响应速度快, 具有可直接操作的 I/O 接口。

(4) 可方便地实现多机和分布式控制, 以提高整个控制系统的效率和可靠性。

2. 单片机的主要应用领域

单片机具有功能强、体积小、成本低、功耗小及配置灵活等特点, 在工业控制、智能仪表、自动化装置、通信系统、信号处理等领域, 以及家用电器、高级玩具、办公自动化设备等方面均得到了广泛的应用。

(1) 工业测控。对工业设备(例如机床、汽车、高档中西餐厨具、锅炉、供水系统、生产自动化、自动报警系统、卫星信号接收等)进行智能测控, 大大地降低了劳动强度和生产成本, 提高了产品质量的稳定性。

(2) 智能设备。用单片机改造普通仪器、仪表、读卡机等, 使其(集测量、处理、控制功能为一体)智能化、微型化, 例如智能仪器、医疗器械、数字示波器等。

(3) 家用电器。例如高档的洗衣机、空调器、电冰箱、微波炉、彩电、DVD、音响、手机及高档电子玩具等电器, 用单片机做自动控制。

(4) 商用产品。例如自动售货机、电子收款机及电子台称等。

(5) 网络与通信的智能接口。在大型计算机控制的网络或通信电路与外围设备的接口电路中, 用单片机来控制或管理, 可大大提高系统的运行速度和接口的管理水平。例如图形终端机、传真机、复印机、打印机、绘图仪及磁盘/磁带机等。

1.4 单片机主要类型介绍及分类

1.4.1 常用系列单片机产品及性能简介

自 1976 年 Intel 公司推出 MCS-48 系列单片机以来, 单片机经过了四十多年的迅猛发展, 拥有了繁多的系列和五花八门的机种, 现介绍几种主要的机型。

1) 8051 单片机

8051 单片机最早由 Intel 公司推出, 其后, 多家公司购买了 8051 的内核, 使得以 8051 为内核的 MCU 系列单片机在世界上产量最大, 应用也最广泛。

51 系列单片机源于 Intel 公司的 MCS-51 系列, 在 Intel 公司将 MCS-51 系列单片机实行技术开放政策之后, 许多公司(例如 Philips、Dallas、Siemens、Atmel、华邦、LG 等)都以 MCS-51 中的基础结构 8051 为基核推出了许多各具特色、具有优异性能的单片机。这样, 把这些厂家

以 8051 为基核推出的各种型号的兼容型单片机统称为 51 系列单片机。Intel 公司 MCS-51 系列单片机中的 8051 是其中最基础的单片机型号。

2) WINBOND 单片机

华邦公司的 W77, W78 系列 8 位单片机的脚位和指令集与 8051 兼容, 但每个指令周期只需要 4 个时钟周期, 速度提高了 3 倍, 工作频率最高可达 40MHz。同时增加了 WatchDog Timer, 6 组外部中断源, 2 组 UART, 2 组 Data pointer 及 Wait state control pin。W741 系列的 4 位单片机带液晶驱动, 在线烧录, 保密性高, 低操作电压 (1.2V~1.8V)。

3) LG 公司生产的 GMS90 系列单片机

与 Intel MCS-51 系列, Atmel 89C51/52, 89C2051 等单片机兼容, CMOS 技术, 高达 40MHz 的时钟频率。应用于以下方面: 多功能电话, 智能传感器, 电度表, 工业控制, 防盗报警装置, 各种计费器, 各种 IC 卡装置, DVD, VCD, CD-ROM。

4) MSP430 单片机

TI 的 MSP430 单片机是最近引进中国的品种。它在超低功耗方面有突出的表现, 经常被电池应用设计师所选用, 被业界称为绿色 MCU。同时它内部有丰富的片内外围模块, 是一个典型的片上系统 (SOC), 又是 16 位的精简指令结构, 功能相当强大。

5) Motorola 单片机

Motorola 是世界上最大的单片机厂商。从 M6800 开始, 开发了广泛的品种, 4 位、8 位、16 位、32 位的单片机都能生产。其中典型的代表有 8 位机 M6805/M68HC05 系列、8 位增强型 M68HC11/M68HC12、16 位机 M68HC16 和 32 位机 M683XX。Motorola 单片机的特点之一是, 在同样的速度下所用的时钟频率较 Intel 类单片机低得多, 因而使得高频噪声低, 抗干扰能力强, 更适合工控领域及恶劣的环境使用。

6) MicroChip 单片机

MicroChip 单片机的主要产品是 PIC 16C 系列和 17C 系列 8 位单片机, CPU 采用 RISC 结构, 分别有 33、35、58 条指令, 采用 Harvard 双总线结构, 运行速度快, 低工作电压, 低功耗, 有较大的输入/输出直接驱动能力, 价格低, 一次性编程, 小体积。适用于用量大、档次低、价格敏感的产品。在办公自动化设备、消费电子产品、电信通信、智能仪器仪表、汽车电子、金融电子、工业控制不同领域都有广泛的应用, PIC 系列单片机在世界单片机市场份额排名中逐年提高, 发展非常迅速。

7) ATMEL 公司的 AVR 单片机

ATMEL 公司的 AVR 单片机是增强型 RISC 内载 Flash 的单片机, 芯片上的 Flash 存储器附在用户的产品中, 可随时编程, 再编程, 使用户的产品设计容易, 更新换代方便。AVR 单片机采用增强的 RISC 结构, 使其具有高速处理能力, 在一个时钟周期内可执行复杂的指令, 每 MHz 可实现 1MIPS 的处理能力。AVR 单片机工作电压为 2.7~6.0V, 可以实现耗电最优化。AVR 的单片机广泛应用于计算机外部设备, 工业实时控制, 仪器仪表, 通信设备, 家用电器, 宇航设备等各个领域。

8) EM78 系列 OTP 型单片机

台湾地区义隆电子股份有限公司的产品, 直接替代了 PIC16CXX, 管脚兼容, 软件可转换。

9) Zilog 单片机

Z8 单片机是 Zilog 公司的产品, 采用多累加器结构, 有较强的中断处理能力, 开发工具价廉物美。Z8 单片机以低价位面向低端应用。直到 20 世纪 90 年代后期, 很多大学的微机原

理还是讲述 Z80 的。

10) EPSON 单片机

EPSON 单片机以低电压、低功耗和内置 LCD 驱动器特点闻名于世, 尤其是 LCD 驱动部分做得很好。广泛用于工业控制、医疗设备、家用电器、仪器仪表、通信设备和手持式消费类产品等领域。目前, EPSON 已推出 4 位单片机 SMC62 系列、SMC63 系列、SMC60 系列和 8 位单片机 SMC88 系列。

11) 东芝单片机

东芝单片机门类齐全, 4 位机在家电领域有很大市场, 8 位机主要有 870 系列、90 系列, 该类单片机允许使用慢模式, 采用 32K 时钟时功耗降至 10MA 数量级。东芝的 32 位单片机采用 MIPS 3000A RISC 的 CPU 结构, 面向 VCD、数码相机、图像处理等市场。

12) NS 单片机

COP8 单片机是 NS (美国国家半导体公司) 的产品, 内部集成了 16 位 A/D, 这是不多见的, 在看门狗多路及 STOP 方式下单片机的唤醒方式上都有独到之处。此外, COP8 的程序加密也做得比较好。

13) MDT20XX 系列单片机

工业级 OTP 单片机, Micon 公司生产, 与 PIC 单片机管脚完全一致, 海尔集团的电冰箱控制器、TCL 通信产品、长安奥拓铃木小轿车功率分配器就采用这种单片机。

14) Scenix 单片机

Scenix 公司推出的 8 位 RISC 结构 SX 系列单片机与 Intel 的 Pentium II 等一起被 *Electronic Industry Yearbook* 评选为 1998 年世界十大处理器。在技术上有其独到之处: SX 系列双时钟设置, 指令运行速度可达 50/75/100MIPS (每秒执行百万条指令, XXX M Instruction Per Second); 具有虚拟外设功能, 柔性化 I/O 端口, 所有的 I/O 端口都可单独编程设定, 公司提供各种 I/O 的库函数, 用于实现各种 I/O 模块的功能, 例如, 多路 UART, 多路 A/D, PWM, SPI, DTMF, FS, LCD 驱动等。采用 EEPROM/FLASH 程序存储器, 可以实现在线系统编程。通过计算机 RS232C 接口, 采用专用串行电缆即可对目标系统进行在线实时仿真。

1.4.2 MCS-51 系列单片机分类

尽管各类单片机很多, 但目前在我国使用最为广泛的单片机系列是 Intel 公司生产的 MCS-51 系列单片机, 同时该系列还在不断地完善和发展。随着各种新型号系列产品的推出, 它越来越被广大用户所接受。

MCS-51 系列单片机共有二十几种芯片, 表 1-3 列出了 MCS-51 系列单片机的产品分类及特点。

表 1-3 MCS-51 系列单片机分类

型 号	程序存储 器 R/E	数据 存储器	寻址范围 (RAM)	寻址范围 (ROM)	并行口	串行口	中断源	定时器 计数器	晶振/ MHz	典型指令 /μs	其 他
8051AH	4KR	128	64KB	64KB	4×8	UART	5	2×16	2~12	1	HMOS-II 工艺
8751H	4KE	128	64KB	64KB	4×8	UART	5	2×16	2~12	1	HMOS-I 工艺
8031AH	—	128	64KB	64KB	4×8	UART	5	2×16	2~12	1	HMOS-II 工艺

续表

型号	程序存储器 R/E	数据存储器	寻址范围 (RAM)	寻址范围 (ROM)	并行口	串行口	中断源	定时器计数器	晶振/MHz	典型指令/ μ s	其他
8052AH	8KR	256	64KB	64KB	4×8	UART	6	3×16	2~12	1	HMOS-II 工艺
8752H	8KE	256	64KB	64KB	4×8	UART	6	3×16	2~12	1	HMOS-I 工艺
8032AH	——	256	64KB	64KB	4×8	UART	6	3×16	2~12	1	HMOS-II 工艺
80C51BH	4KR	128	64KB	64KB	4×8	UART	5	2×16	2~12	1	CHMOS 工艺
87C51H	4KE	128	64KB	64KB	4×8	UART	5	2×16	2~12	1	
80C31BH	——	128	64KB	64KB	4×8	UART	5	2×16	2~12	1	
83C451	4KR	128	64KB	64KB	7×8	UART	5	2×16	2~12	1	CHMOS 工艺 有选通方式双向口
87C451	4KE	128	64KB	64KB	7×8	UART	5	2×16	2~12	1	
80C451	——	128	64KB	64KB	7×8	UART	5	2×16	2~12	1	
83C51GA	4KR	128	64KB	64KB	4×8	UART	7	2×16	2~12	1	CHMOS 工艺 8×8A/D 有 16 位监视定时器
87C51GA	4KE	128	64KB	64KB	4×8	UART	7	2×16	2~12	1	
80C51GA	——	128	64KB	64KB	4×8	UART	7	2×16	2~12	1	
83C152	8KR	256	64KB	64KB	5×8	GSC	6	2×16	2~17	0.73	CHMOS 工艺 有 DMA 方式
80C152	——	256	64KB	64KB	5×8	GSC	11	2×16	2~17		
83C251	8KR	256	64KB	64KB	4×8	UART	7	3×16	2~12	1	CHMOS 工艺 有高速输出、脉冲调制、16 位监视定时器
87C251	8KE	256	64KB	64KB	4×8	UART	7	3×16	2~12	1	
80C251	——	256	64KB	64KB	4×8	UART	7	3×16	2~12	1	
80C52	8KR	256	64KB	64KB	4×8	UART	6	3×16	2~12	1	CHMOS 工艺
8052AH BASIC	8KR	256	64KB	64KB	4×8	UART	6	3×16	2~12	1	HMOS-II 工艺 片内固化 BASIC

注：UART 为通用异步接收发送器，R/E 为 MaskROM/EPROM，GSC 为全局串行通道。

表 1-3 中列出了 MCS-51 系列单片机的芯片型号，以及它们的技术性能指标，下面在表 1-3 的基础上对 MCS-51 系列单片机作进一步的说明。

1. 按片内不同程序存储器的配置来分

MCS-51 系列单片机按片内不同程序存储器的配置来分，可以分为三种类型。

① 片内带 MaskROM (掩模 ROM) 型：8051, 80C51, 8052, 80C52。此类芯片是由半导体厂家在芯片生产过程中，将用户的应用程序代码通过掩模工艺制作到 ROM 中。其应用程序只能委托半导体厂家“写入”，一旦写入后不能修改。此类单片机，适合大批量使用。

② 片内带 EPROM 型：8751, 87C51, 8752。此类芯片带有透明窗口，可通过紫外线擦除存储器中的程序代码，应用程序可通过专门的编程器写入到单片机中，需要更改时可擦除重新写入。但此类单片机价格较贵，不宜大批量使用。

③ 片内无 ROM (ROMLess) 型：8031, 80C31, 8032。此类芯片的片内没有程序存储器，使用时必须在外部并行扩展程序存储器存储芯片。此类单片机由于必须在外部并行扩展程序存储器存储芯片，造成系统电路复杂，故目前较少使用。

2. 按片内不同容量的存储器配置来分

按片内不同容量的存储器配置来分，可以分为两种类型。

① 51 子系列型：芯片型号的最后一位数字以 1 作为标志，51 子系列是基本型产品。片内带有 4KB ROM/EPROM (8031, 80C31 除外)、128B RAM、2 个 16 位定时器/计数器、5 个中

断源等。

② 52 子系列型：芯片型号的最后一位数字以 2 作为标志，52 子系列则是增强型产品。片内带有 8KB ROM/EPROM (8032, 80C32 除外)、256B RAM、3 个 16 位定时器/计数器、6 个中断源等。

3. 按芯片的半导体制造工艺上的不同来分

按芯片的半导体制造工艺上的不同来分，可以分为两种类型。

① HMOS 工艺型：8051, 8751, 8052, 8032。HMOS 工艺，即高密度短沟道 MOS 工艺。

② CHMOS 工艺型：80C51, 83C51, 87C51, 80C31, 80C32, 80C52。此类芯片型号中都字母“C”来标识。

此两类器件在功能上是完全兼容的，但采用 CHMOS 工艺的芯片具有低功耗的特点，它所消耗的电流要比 HMOS 器件小得多。CHMOS 器件比 HMOS 器件多了两种节电的工作方式（掉电方式和待机方式），常用于构成低功耗的应用系统。

此外，关于单片机的温度特性，与其他芯片一样按所能适应的环境温度范围，可划分为三个等级：

① 民用级：0℃~70℃。

② 工业级：-40℃~+85℃。

③ 军用级：-65℃~+125℃。

因此在使用时应注意根据现场温度选择芯片。

1.4.3 AT89 系列单片机分类

在 MCS-51 系列单片机 8051 的基础上，Atmel 公司开发了 AT89 系列单片机，以其较低廉的价格和独特的程序存储器——快闪存储器（Flash Memory）为用户所青睐。表 1-4 列出了 AT89 系列单片机的几种主要型号。

表 1-4 AT89 系列单片机一览表

型 号	快闪程序存储器	数据存储器	寻址范围 ROM	寻址范围 RAM	并行 I/O 口线	串行 UART	中断源	定时器/计数器	工作频率/MHz
AT89C51	4K	128	64KB	64KB	32	1 个	5	2×16	0~24
AT89C52	8K	256	64KB	64KB	32	1 个	6	3×16	0~24
AT89LV51	4K	128	64KB	64KB	32	1 个	5	2×16	0~24
AT89LV52	8K	256	64KB	64KB	32	1 个	6	3×16	0~24
AT89C1051	1K	64	4KB	4KB	15	—	3	1×16	0~24
AT89C1051U	1K	64	4KB	4KB	15	1 个	5	2×16	0~24
AT89C2051	2K	128	4KB	4KB	15	1 个	5	2×16	0~24
AT89C4051	4K	128	4KB	4KB	15	1 个	5	2×16	0~24
AT89C55	20K	256	64KB	64KB	32	1 个	6	3×16	0~33
AT89S53	12K	256	64KB	64KB	32	1 个	7	3×16	0~33
AT89S8252	8K	256	64KB	64KB	32	1 个	7	3×16	0~33
AT88SC54C	8K	128	64KB	64KB	32	1 个	5	2×16	0~24

采用了快闪存储器 (Flash Memory) 的 AT89 系列单片机, 不但具有一般 MCS-51 系列单片机的基本特性 (如指令系统兼容, 芯片引脚分布相等等), 而且还具有一些独特的优点。

① 片内程序存储器为电擦写型 ROM (可重复编程的快闪存储器)。整体擦除时间仅为 10ms 左右, 可写入/擦除 1000 次以上, 数据保存 10 年以上。

② 两种可选编程模式, 即可以用 12V 电压编程, 也可以用 V_{cc} 电压编程。

③ 工作电压范围, $V_{cc}=2.7\sim 6V$ 。

④ 全静态工作, 工作频率范围: 0Hz~24MHz, 频率范围宽, 便于系统功耗控制。

⑤ 三层可编程的程序存储器上锁加密, 使程序和系统更加难以仿制。

总之, AT89 系列单片机与 MCS-51 系列单片机相比, 前者和后者有兼容性, 但前者的性能价格比等指标更为优越。

1.4.4 其他公司的 51 系列单片机

① Philips 公司推出的含存储器的 80C51 系列和 80C52 系列单片机, 此产品都为 CMOS 型工艺的单片机。Philips 公司推出的 51 系列单片机与 MCS-51 系列单片机相兼容, 但增加了程序存储器 FlashROM、数据存储器 EEPROM、可编程计数器阵列 PCA、I/O 接口的高速输入/输出、串行扩展总线 I^2C BUS、ADC、PWM、I/O 口驱动器、程序监视定时器 WDT (Watch Dog Timer) 等功能的扩展。

② 华邦公司推出的 W78C $\times\times$ 和 W78E $\times\times$ 系列单片机, 此产品与 MCS-51 系列单片机兼容, 但增加了程序存储器 FlashROM、数据存储器 EEPROM、可编程计数器阵列 PCA、I/O 接口的高速输入/输出、串行扩展总线 I^2C BUS、ADC、PWM、I/O 接口驱动器、程序监视定时器 WDT (Watch Dog Timer) 等功能的扩展。华邦公司生产的单片机还具有价格低廉, 工作频率高 (40MHz) 等特点。

③ Dallas 公司推出的 DallasHSM 系列单片机, 产品主要有 DS80C $\times\times\times$ 、DS83C $\times\times\times$ 和 DS87C $\times\times\times$ 等。此产品除了与 MCS-51 系列单片机兼容, 还具有高速结构 (1 个机器周期只有四个 clock, 工作频率范围为 0~33MHz)、更大容量的内部存储器 (内部 ROM 有 16KB)、两个 UART、13 个中断源、程序监视器 WDT 等功能。

④ LG 公司推出的 GMS90C $\times\times$ 、GMS97C $\times\times$ 和 GMS90L $\times\times$ 、GMS97L $\times\times$ 系列单片机。此产品与 MCS-51 系列单片机兼容。

以上 Philips、Dallas、Atmel、华邦、LG 等大公司生产的系列单片机与 Intel 公司的 MCS-51 系列单片机具有良好的兼容性, 包括指令兼容、总线兼容和引脚兼容。但各个厂家发展了许多功能不同、类型不一的单片机, 给用户提供了广泛的选择空间, 其良好的兼容性保证了选择的灵活性。

本章小结



在计算机内部, 不管是数字还是字符, 都是以二进制编码的形式进行表示和处理的。而数通常有两种: 无符号数和有符号数。无符号数的表示很简单, 直接用它对应的二进制形式表示即可。有符号数有正、负号, 在计算机内为识别正、负号, 在数的前面加一位作为符号位, 这种带符号位的数称为机器数。为运算方便, 机器数在计算机中有三种表示方法: 原码、反码和

补码。通过补码运算能将减法转换成加法。

单片机是微型计算机的一个分支,由硬件系统和软件系统构成。单片机是将 CPU、存储器 (RAM 和 ROM)、定时器/计数器,以及 I/O 接口等主要部件集成在一块芯片上的微型计算机。它具有功能强、体积小、抗干扰能力强、性价比高等特点,可作为常规器件应用于各种智能化系统中。

单片机与一般的微型计算机相比,在硬件结构和指令设置上具有以下主要特点。

① 大多数单片机采用哈佛 (Harvard) 结构体系,存储器 ROM 和 RAM 是严格区分、相互独立的。小容量的数据存储器能以高速 RAM 形式集成在单片机内,以加速单片机的执行速度,同时程序在只读存储器 ROM 中运行,不易受外界侵害,可靠性高。

② I/O 引脚通常是多功能的。

③ 有面向控制的指令系统,例如,丰富的转移指令、I/O 接口的逻辑操作,以及位处理指令等。使单片机具有更强的逻辑控制能力,特别是具有很强的位处理能力。

④ 外部扩展能力强,例如,扩展存储器、I/O 接口、定时/计数器、中断系统等,可与许多通用的微机接口芯片兼容,系统设计方便灵活。

习 题 1

- 1-1 给出下列有符号数的原码、反码和补码 (设计算机字长为 8 位)。
+37 -86 -105 +112 -79
- 1-2 8 位补码表示的定点整数的范围是多少?
- 1-3 已知 X、Y 是两个有符号数的定点整数,它们的补码为: $[X]_{\text{补}}=00010011\text{B}$, $[y]_{\text{补}}=11111001\text{B}$, 求 $[X+Y]_{\text{补}}$ 等于多少?
- 1-4 请选择正确答案填在括号中: 将 -33 以补码形式存入 8 位寄存器中, 寄存器中的内容为 ()
A. DFH B. A1H C. 5FH D. DEH
- 1-5 请选择正确答案填在括号中: 如果 X 为负数, 由 $[X]_{\text{补}}$ 求 $[-X]_{\text{补}}$ 是将 ()
A. $[X]_{\text{补}}$ 各值保持不变
B. $[X]_{\text{补}}$ 符号位变反, 其他各位不变
C. $[X]_{\text{补}}$ 除了符号位外, 各位变反, 末位加 1
D. $[X]_{\text{补}}$ 连同符号位一起各位变反, 末位加 1
- 1-6 请选择正确答案填在括号中: 设有二进制数 $X=-1101110$, 若采用 8 位二进制数表示, 则 $[X]_{\text{补}}$ 的结果是 ()。
A. 11101101 B. 10010011 C. 00010011 D. 10010010
- 1-7 8051 与 8751 的区别是 ()
A. 内部数据存储数目的不同 B. 内部数据存储器的类型不同
C. 内部程序存储器的类型不同 D. 内部寄存器的数目不同
- 1-8 单片机与普通计算机的不同之处在于其将 () () 和 () 三部分集成于一块芯片上 ()
- 1-9 MCS-51 单片机内部提供了哪些资源?
- 1-10 单片机有哪些应用特点? 主要应用在哪些领域?
- 1-11 MCS-51 单片机如何进行分类? 各类有哪些主要特性?