



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

◎ 庄友谊 主编    ◎ 朱月秀 尤佳 副主编



 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>

电子信息科学与工程类专业规划教材

# 单片机原理及应用

主 编 庄友谊  
副主编 朱月秀 尤 佳  
参 编 蒋小洛 薛光明 李理敏

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书以汇编语言和 C51 编程为主线,系统介绍 MCS-51 单片机的原理及应用。全书共 10 章,包括单片机基础知识、MCS-51 单片机组成、MCS-51 指令系统及汇编语言程序设计、单片机 C 语言程序设计、中断与定时、MCS-51 单片机的串行通信、MCS-51 单片机的并行扩展、MCS-51 单片机的接口技术、C8051F41x 单片机简介、MCS-51 单片机应用系统设计与开发。内容深入浅出,理论适度,注重工程应用,选择了难度适中的例子和实用性较强的案例,便于读者学以致用。

本书可作为高等院校电气类、电子信息类、计算机类、机械类等相关专业的教材,也适合从事单片机应用开发的工程技术人员参考。

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/庄友谊主编. —北京:电子工业出版社,2020.1

电子信息科学与工程类专业规划教材

ISBN 978-7-121-38139-3

I. ①单… II. ①庄… 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(2019)第 268528 号

责任编辑:凌毅

印刷:三河市君旺印务有限公司

装订:三河市君旺印务有限公司

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:18 字数:490 千字

版次:2020 年 1 月第 1 版

印次:2020 年 1 月第 1 次印刷

定价:49.90 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 zllts@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

计算机技术发展日新月异，而单片机因其功能强、体积小、价格低、稳定性好等优点，应用领域不断扩大，目前在计算机外部设备、通信、智能仪表、过程控制、家用电器、航空航天系统等各个领域得到了广泛应用。

目前世界上有许多公司都生产单片机，但以 MCS-51 为核心的单片机系列仍是主流单片机，也是广大工程技术人员首选的机型。本书以 MCS-51 单片机为背景，系统介绍单片机的结构、工作原理、汇编语言及 C51 语言编程、扩展和接口技术、中断系统、各功能部件的组成及应用。为了体现新工科形势下应用型人才的培养要求，本书在内容选取上注重应用，通过大量的例子和实际工程案例，把在工程中广泛应用的知识、技术讲透，以达到触类旁通、举一反三的目的；在内容组织上注重学生的特点，力求循序渐进、深入浅出；课后习题难易适当，适合课程的学习需要。

全书共 10 章。第 1 章为单片机基础知识；第 2 章介绍 MCS-51 单片机组成；第 3 章介绍 MCS-51 指令系统及汇编语言程序设计；第 4 章介绍单片机 C 语言程序设计；第 5~8 章分别介绍中断与定时、MCS-51 单片机的串行通信、MCS-51 单片机的并行扩展、MCS-51 单片机的接口技术；第 9 章为 C8051F41x 单片机简介；第 10 章介绍 MCS-51 单片机应用系统设计与开发。每章在介绍必需的理论基础知识后，一般都安排相应的应用案例。书后共 3 个附录，分别为 MCS-51 指令一览表、Keil C51 软件的使用、基于 Proteus 的单片机系统仿真。

本书配有 PPT、程序源代码、实验指导等教学资源，同时，为配合本课程实验教学，我们分别开发了基于 MCS-51 单片机和 C8051F410 单片机的实验电路板，有需要的可以联系 233280981@qq.com。

本书由庄友谊担任主编，朱月秀、尤佳担任副主编，蒋小洛、薛光明、李理敏参与编写。其中，第 1、4、9、10 章由庄友谊编写，第 2、3、5 章由朱月秀编写，第 6 章由尤佳编写，第 7 章由薛光明编写，第 8 章由蒋小洛编写，附录由庄友谊与李理敏共同编写。在本书编写过程中，参考了有关单片机方面的书籍，在此向作者表示诚挚的感谢。同时，本书出版得到了温州大学电气与电子工程学院院长汪鹏君教授、副院长陈孝敬教授的大力支持，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免会有疏漏之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2019 年 12 月

# 目 录

第 1 章 单片机基础知识	1	2.3.5 I/O 口的读-修改-写操作	22
1.1 微型计算机简述	1	2.3.6 I/O 口的负载能力及接口要求	23
1.1.1 微型计算机硬件系统	1	2.4 MCS-51 单片机的时钟电路与时序	23
1.1.2 微型计算机软件系统	1	2.4.1 时钟电路	23
1.2 单片机概述	2	2.4.2 时序定时单位	24
1.2.1 单片机的概念	2	2.4.3 典型指令时序	25
1.2.2 单片机的发展概况	2	2.5 MCS-51 单片机的复位方式和	
1.2.3 单片机的特性	2	复位电路	26
1.2.4 单片机的发展趋势	3	2.5.1 复位	26
1.2.5 单片机的应用	4	2.5.2 复位电路	26
1.3 MCS-51 单片机及其兼容单片机简介	5	2.6 低功耗操作方式	27
1.3.1 MCS-51 单片机	5	2.6.1 HMOS 工艺单片机的掉电	
1.3.2 AT89 系列单片机	5	保护方式	27
1.3.3 STC 系列单片机	6	2.6.2 CHMOS 工艺单片机的低	
1.3.4 C8051F 系列单片机	7	功耗方式	28
1.4 计算机中的信息表示	7	2.7 I/O 口应用案例及 Proteus 仿真	29
1.4.1 机器数与机器数的表示形式	7	2.7.1 P1 口控灯	29
1.4.2 计算机的信息编码	9	2.7.2 P1 口循环控灯	30
本章小结	10	本章小结	31
思考题与练习题 1	10	思考题与练习题 2	31
第 2 章 MCS-51 单片机组成	11	第 3 章 MCS-51 指令系统及汇编	
2.1 MCS-51 单片机的硬件结构	11	语言程序设计	32
2.1.1 MCS-51 单片机的内部结构	11	3.1 指令系统概述	32
2.1.2 MCS-51 单片机的引脚功能	13	3.1.1 指令格式	32
2.2 MCS-51 单片机的内部存储器	13	3.1.2 指令系统的分类	33
2.2.1 内部数据存储器低 128 单元	14	3.1.3 指令描述符号意义的说明	33
2.2.2 内部数据存储器高 128 单元	15	3.2 寻址方式	34
2.2.3 堆栈	18	3.3 MCS-51 指令系统	37
2.2.4 内部程序存储器	19	3.3.1 数据传送类指令	37
2.2.5 MCS-51 单片机存储器的结构	19	3.3.2 算术运算类指令	41
2.3 MCS-51 单片机 I/O 口电路及功能	20	3.3.3 逻辑运算及移位类指令	45
2.3.1 P0 口	20	3.3.4 控制转移类指令	48
2.3.2 P1 口	21	3.3.5 位操作类指令	52
2.3.3 P2 口	21	3.4 汇编语言概述及伪指令	54
2.3.4 P3 口	22	3.4.1 汇编语言的特点	54

3.4.2	汇编语言的语句格式	54
3.4.3	汇编语言的伪指令	55
3.5	汇编语言程序设计	57
3.5.1	顺序程序设计	57
3.5.2	分支程序设计	58
3.5.3	循环程序设计	60
3.5.4	子程序设计	61
3.6	常用程序的设计	63
3.6.1	数制转换程序	63
3.6.2	多字节无符号数的加减运算	64
3.6.3	软件定时程序	65
3.6.4	查表程序	66
3.6.5	极值查找程序	68
3.6.6	数据检索程序	68
3.6.7	数据排序程序	69
	本章小结	70
	思考题与练习题 3	70
<b>第 4 章</b>	<b>单片机 C 语言程序设计</b>	<b>74</b>
4.1	C51 概述	74
4.2	C51 的基本语法	74
4.2.1	C51 的标识符和关键字	74
4.2.2	C51 数据类型	75
4.2.3	C51 数据存储类型和 存储模式	77
4.2.4	常量与变量	80
4.2.5	C51 运算符、表达式 及其规则	81
4.2.6	数组	82
4.2.7	指针	84
4.3	C51 对绝对地址存储单元的访问	85
4.4	C51 流程控制语句	89
4.4.1	选择语句	89
4.4.2	循环语句	92
4.5	C51 函数	95
4.5.1	函数的定义和分类	95
4.5.2	函数的调用	95
4.5.3	C51 的库函数	96
4.6	MCS-51 单片机的键盘及 LED 显示编程案例	98
	本章小结	100
	思考题与练习题 4	101
<b>第 5 章</b>	<b>中断与定时</b>	<b>102</b>
5.1	MCS-51 单片机的中断系统	102
5.1.1	概述	102
5.1.2	MCS-51 单片机的中断源	103
5.1.3	中断控制	103
5.1.4	中断处理过程	105
5.1.5	中断请求的撤销	108
5.1.6	中断编程	109
5.2	MCS-51 单片机的定时器/计数器	112
5.2.1	定时器/计数器的功能	112
5.2.2	定时器/计数器的控制 寄存器	113
5.2.3	方式 0	114
5.2.4	方式 1	116
5.2.5	方式 2	117
5.2.6	方式 3	119
5.2.7	用定时器/计数器进行外部 中断扩展	120
5.3	中断与定时器/计数器综合应用举例	121
5.4	数字频率计设计案例及 Proteus 仿真	128
5.4.1	案例教学的目的、要求和 教学方法	128
5.4.2	数字频率计的原理及硬件 电路图	128
5.4.3	数字频率计的软件编程思路	129
5.4.4	案例思考题	130
	本章小结	130
	思考题与练习题 5	130
<b>第 6 章</b>	<b>MCS-51 单片机的串行通信</b>	<b>132</b>
6.1	串行通信基本常识	132
6.1.1	异步串行通信的字符格式	132
6.1.2	异步串行通信的传输速率	133
6.1.3	异步串行通信的信号形式	133
6.1.4	异步串行通信的数据 通路方式	134
6.2	RS-232C 接口标准及其接口芯片	134
6.2.1	RS-232C 连接器	134
6.2.2	RS-232C 接口的引脚定义	134
6.2.3	RS-232C 主要引脚说明	135

6.2.4	电气特性	136	7.4	模拟霓虹灯设计案例及 Proteus 仿真	175
6.2.5	RS-232C 接口的连接方式	136	7.4.1	案例教学的目的、要求和教学方法	175
6.2.6	串行口电路	137	7.4.2	模拟霓虹灯的硬件电路图	175
6.3	MCS-51 单片机的串行口及控制寄存器	138	7.4.3	模拟霓虹灯的软件编程思路	176
6.3.1	MCS-51 单片机串行口结构	138	7.4.4	案例思考题	178
6.3.2	串行通信控制寄存器	138	本章小结		178
6.4	MCS-51 单片机串行通信工作方式	140	思考题与练习题 7		178
6.4.1	串行工作方式 0	140	<b>第 8 章 MCS-51 单片机的接口技术</b>		179
6.4.2	串行工作方式 1	144	8.1	键盘接口技术	179
6.4.3	串行工作方式 2	148	8.1.1	按键的特性	179
6.4.4	串行工作方式 3	149	8.1.2	独立式键盘接口技术	180
6.5	多机通信	150	8.1.3	行列式键盘接口技术	181
6.5.1	多机通信基本原理	150	8.2	LED 显示接口技术	183
6.5.2	多机通信的程序设计	150	8.2.1	LED 显示原理	183
6.5.3	简单应用举例	151	8.2.2	静态显示技术	184
6.6	SPI 总线技术	152	8.2.3	动态显示技术	184
6.6.1	SPI 总线结构	153	8.3	LCD 显示接口技术	186
6.6.2	SPI 串行扩展应用实例	154	8.3.1	LCD1602 液晶显示模块简介	186
6.7	I <sup>2</sup> C 总线技术	156	8.3.2	LCD1602 液晶显示模块存储器	186
6.7.1	I <sup>2</sup> C 总线协议	157	8.3.3	LCD1602 液晶显示模块指令	187
6.7.2	I <sup>2</sup> C 总线应用举例	158	8.3.4	LCD 显示器与单片机接口	189
6.8	PC 机与单片机的通信案例	161	8.4	单片机与 D/A、A/D 转换器的接口与应用	190
6.8.1	案例教学目的和教学要求	161	8.4.1	典型 D/A 转换器芯片 DAC0832	190
6.8.2	硬件连接电路图	161	8.4.2	DAC0832 与单片机接口	191
6.8.3	PC 机的软件编程思路	161	8.4.3	典型 A/D 转换器芯片 ADC0809	193
6.8.4	单片机的软件编程思路	162	8.4.4	ADC0809 与单片机接口	194
本章小结		163	8.5	多通道模拟量数据采集系统设计案例及 Proteus 仿真	196
思考题与练习题 6		163	8.5.1	案例教学的目的、要求和教学方法	196
<b>第 7 章 MCS-51 单片机的并行扩展</b>		165	8.5.2	多通道模拟量数据采集系统功能与硬件电路图	196
7.1	系统总线及总线构造	165			
7.1.1	单片机扩展概述	165			
7.1.2	单片机系统总线及其构造	165			
7.2	存储器扩展	167			
7.2.1	程序存储器扩展	167			
7.2.2	数据存储器扩展	170			
7.3	I/O 口扩展	171			
7.3.1	简单 I/O 口扩展	171			
7.3.2	8255A 可编程并行 I/O 口扩展	172			

8.5.3	多通道模拟量数据采集系统 软件编程思路	197	9.8.1	12 位 ADC 结构	233
8.5.4	案例思考题	200	9.8.2	ADC 工作方式	234
本章小结		200	9.8.3	可编程窗口检测器	235
思考题与练习题 8		200	9.9	数模转换器 DAC	236
<b>第 9 章 C8051F41x 单片机简介</b>		201	9.9.1	12 位 IDAC 结构	236
9.1	C8051F41x 概述	201	9.9.2	IDA0 输出更新	237
9.1.1	C8051F410 系统内部结构	202	9.9.3	IDAC 输出字格式	237
9.1.2	C8051F410 系统引脚	202	9.10	复位	238
9.2	C8051F41x 存储器组织	203	9.11	电源管理方式	240
9.2.1	程序存储器	203	本章小结		240
9.2.2	内部数据存储器	204	思考题与练习题 9		240
9.2.3	片内外部数据存储器	205	<b>第 10 章 MCS-51 单片机应用系统</b>		
9.3	C8051F41x 可编程的 I/O 口	205	设计与开发		242
9.3.1	I/O 口输入/输出	205	10.1	单片机应用系统设计的一般 步骤和方法	242
9.3.2	优先权交叉开关译码器	206	10.1.1	单片机应用系统的 性能要求	242
9.3.3	I/O 口初始化	209	10.1.2	设计步骤	242
9.3.4	通用 I/O 口	209	10.1.3	硬件设计	243
9.4	C8051F41x 中断系统	210	10.1.4	软件设计	245
9.4.1	C8051F41x 中断系统概述	210	10.1.5	系统调试	245
9.4.2	中断寄存器说明	212	10.2	单片机应用系统的抗干扰技术	245
9.4.3	外部中断	213	10.2.1	硬件抗干扰技术	246
9.5	C8051F41x 内部定时器/计数器	214	10.2.2	软件抗干扰技术	247
9.5.1	概述	214	10.3	综合系统案例及 Proteus 仿真	249
9.5.2	定时器/计数器 T0、T1	215	10.3.1	交通信号灯的设计与实现	249
9.5.3	定时器/计数器 T2、T3	216	10.3.2	电子密码锁的设计与实现	254
9.6	可编程定时器/计数器阵列 (PCA)	219	10.3.3	案例思考题	265
9.6.1	PCA 定时器/计数器	219	本章小结		265
9.6.2	捕捉/比较模块	221	思考题与练习题 10		265
9.6.3	看门狗定时器方式	226	<b>附录 A MCS-51 指令一览表</b>		266
9.7	C8051F41x 的串行口	227	<b>附录 B Keil C51 软件的使用</b>		269
9.7.1	通用串行口 UART0	227	<b>附录 C 基于 Proteus 的单片机</b>		
9.7.2	增强型串行口 (SPI0)	228	系统仿真		275
9.7.3	SMBus 接口	231	<b>参考文献</b>		280
9.8	模数转换器 ADC	233			

# 第1章 单片机基础知识

## 1.1 微型计算机简述

微处理器 (Microprocessor) 和微型计算机 (Microcomputer) 自 20 世纪 70 年代初崛起以来, 发展极其迅猛, 尤其是近些年, 随着集成电路技术的快速发展, 微处理器和微型计算机的性能迅速提高, 其应用也得到迅猛发展, 已经渗透到工业、农业、国防、科技、文化、教育及人们日常生活等各个领域。

一个微型计算机系统可以分为硬件系统和软件系统两部分。

### 1.1.1 微型计算机硬件系统

按照冯·诺依曼提出的以程序存储原理为基础的计算机系统理论, 计算机硬件系统分为运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备 5 部分, 如图 1.1 所示。

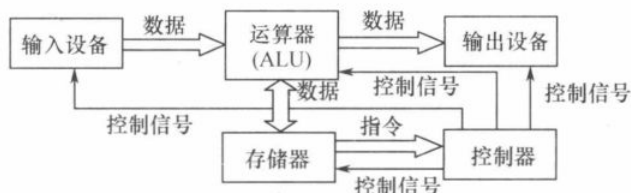


图 1.1 微型计算机的基本结构

信息经输入设备输入后, 经运算器处理, 存入存储器, 或完成后由输出设备输出, 而什么时候输入数据、什么时候运算处理、什么时候输出、什么时候存储等整个过程, 都是由控制器根据预先存放在存储器里的程序发出控制信号来完成的。

通常, 运算器、控制器及部分寄存器集成在一块芯片里, 称为中央处理单元 (CPU)。存储器分为内部存储器 (内存) 和外部存储器 (外存)。内部存储器又有只读存储器 (ROM) 和随机存取存储器 (RAM) 两种, 其中 ROM 在计算机正常工作时, 只能读取, 不能写入, 存放的是程序代码和数据表等固定的数据, 所以通常又被称为程序存储器, 而 RAM 则可读可写, 存取的是程序运行中的数据, 所以通常被称为数据存储器。另外, 输入设备 (如键盘、鼠标等) 和输出设备 (如显示器、打印机等) 统称为外部设备 (简称外设), CPU、存储器及连接外设的接口电路合在一起称为主机。

经过几十年的发展, 现代计算机的结构都是以存储器为中心, 即 CPU、输入设备、输出设备、外存等的的数据交换, 都要通过内存, 以内存为中介来进行。

### 1.1.2 微型计算机软件系统

仅有硬件计算机无法工作, 计算机完成信息处理和控制在, 需要程序的配合。通常, 这些程序就是软件, 但又不能把软件狭义地理解为程序, 计算机软件包含程序、数据及相关的文档资料等。

随着计算机的发展, 计算机软件也日益丰富。按其功能, 软件可以分为两大类: 系统软件和应用软件。系统软件包括操作系统、各种程序设计语言、数据库管理系统和各种工具软件等, 而应用软件是为了解决具体应用问题编写的软件, 如文字处理、各种计算机辅助设计、计算机辅助教学等。

## 1.2 单片机概述

众所周知，微型计算机的发展速度是十分迅速的，其发展方向主要有两个方面。其一是不断推出高性能的通用微型计算机系统。从20世纪80年代的286、386直到今天的八核计算机，字长已从原来的8位扩展到64位；CPU的处理速度和处理能力大大增强；先进的系统结构，使微型计算机适合组成网络。通用微型计算机系统主要用于信息管理、科学计算、辅助设计、辅助制造等。其二是面向控制型应用领域的单片微型计算机的大量生产和广泛应用。由于单片微型计算机具有可靠性高、体积小、价格低、易于产品化等特点，因而在智能仪器仪表、实时工业控制、智能终端、通信设备、导航系统、家用电器等领域获得广泛应用。

### 1.2.1 单片机的概念

单片机又称单片微型计算机，是一种特殊的微型计算机，它把组成微型计算机的各功能部件（CPU、RAM、ROM、I/O口电路、定时器/计数器、串行口等）制作在一块集成芯片中，构成一个完整的微型计算机。

单片机主要应用于控制领域，其结构与指令功能都是按照工业控制要求设计的，故又称为微控制器（Micro Controller Unit, MCU）。在国际上，“微控制器”的叫法更通用些，在我国比较习惯“单片机”这一名称。

由于单片机在应用时通常是被控系统的核心并融入其中，即以嵌入的方式工作，为了强调单片机“嵌入”的特点，也常常将单片机称为嵌入式微控制器。

### 1.2.2 单片机的发展概况

单片机出现的历史并不长，它的产生与发展和微处理器的产生与发展大体上同步，经历了4个阶段。

第一阶段（1971—1974年）：单片机萌芽阶段。1971年11月美国Intel公司首先设计出集成度为2000个晶体管/片的4位微处理器Intel 4004，并且配有RAM、ROM和移位寄存器等芯片，构成第一台MCS-4微型计算机。1972年4月，Intel公司又研制成功了处理能力较强的8位微处理器——Intel 8008。这些微处理器虽说还不是单片机，但从此拉开了研制单片机的序幕。

第二阶段（1974—1978年）：初级单片机阶段。以Intel公司的MCS-48为代表，该系列单片机内集成有8位CPU、并行I/O口、8位定时器/计数器，寻址范围不大于4KB，且无串行口。

第三阶段（1978—1983年）：高性能单片机阶段。在这一阶段推出的单片机普遍带有串行口，有多级中断处理系统、16位定时器/计数器。内部RAM、ROM容量加大，且寻址范围可达64KB，有的内部还带有A/D转换器接口。这类单片机有Intel公司的MCS-51、Motorola公司的6801和Zilog公司的Z8等。这类单片机的应用领域极其广泛。

第四阶段（1983年至今）：8位单片机巩固发展及16位、32位单片机发展阶段。在此阶段，一方面，发展16位、32位单片机及专用单片机；另一方面，不断完善高档8位单片机，改善其结构，以满足不同的用户需要。

### 1.2.3 单片机的特性

从应用的角度看，单片机具有以下一些特性。

#### 1. 集成度高

MCS-51单片机代表产品为8051，8051内部包含4KB的ROM、128B的RAM、4个8位

并行 I/O 口、一个全双工串行口、两个 16 位定时器/计数器及一个处理功能强大的中央处理器。

## 2. 系统结构简单

MCS-51 单片机内部采用模块化结构,增加或更换一个模块就能获得指令系统和引脚兼容的新产品。另外, MCS-51 单片机具有 64KB 的外部 ROM 寻址能力和 64KB 的外部 RAM 及 I/O 口寻址能力。Intel 公司标准的 I/O 口电路和存储器电路都可以直接连到 MCS-51 单片机上以扩展系统功能,应用非常灵活。

## 3. 可靠性高

单片机大多属于工业品,能在常温下工作,不需要在温度恒定的机房内工作。由于单片机总线大多在芯片内部,不易受干扰,而且单片机应用系统体积小,易于屏蔽,因此单片机的可靠性较高。

## 4. 处理功能强,速度快

MCS-51 单片机指令系统中具有加、减、乘、除指令,各种逻辑运算和转移指令,还具有位操作功能。CPU 时钟频率高达 12MHz,单字节乘法和除法仅需要 4 $\mu$ s,而且具有特殊的多机通信功能,可作为多机系统中的子系统。

## 1.2.4 单片机的发展趋势

现在单片机正处在快速更新发展的时期,纵观单片机多年的发展历程,今后单片机将向多功能、高性能、高速度、低电压、低功耗、低价格、外围电路内装化及内部存储器容量增加等方向发展。

### 1. 低电压、低功耗、CMOS 化

早期的 MCS-51 单片机都采用 HMOS 工艺,即高密度、短沟道 MOS 工艺。8051、8751、8031、8951 等产品均属于 HMOS 工艺制造的产品。CHMOS 工艺是 CMOS 和 HMOS 的结合,除保持了 HMOS 工艺的高密度、高速度外,还具有 CMOS 工艺低功耗的特点。例如, HMOS 工艺制造的 8051 的功耗为 630mW,而用 CHMOS 工艺制造的 80C51 的功耗为 120mW,这么低的功耗用一粒纽扣电池就可以工作。单片机型号中包含“C”的产品就是指它的制造工艺是 CHMOS 工艺。如 80C51,就是指用 CHMOS 工艺制造的 8051。CMOS 化已成为目前单片机及其外围器件流行的半导体工艺。

### 2. 速度越来越快

对于一个单片机应用系统来说,单片机速度越快,对突发事件的反应也越快,对系统的控制能力也越强。随着集成电路工艺的发展,单片机的速度也在提高,另外有些单片机采用了 RISC 体系结构,提高了系统的运行速度。早期的单片机大多采用 CISC 体系结构,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,因此大大阻碍了运行速度的提高。如 MCS-51 单片机,当外部时钟为 12MHz 时,其单周期指令运行速度也仅为 1MIPS。采用 RISC 体系结构和精简指令后,单片机的指令绝大部分成为单周期指令,而通过增加程序存储器的宽度(如从 8 位增加到 16 位),实现了一个地址单元存放一条指令。在这种体系结构中,很容易实现并行流水线操作,大大提高了指令的运行速度。目前一些 RISC 结构的单片机,如美国 Atmel 公司的 AVR 系列单片机已实现了一个时钟周期执行一条指令。与 MCS-51 相比,在相同的 12MHz 外部时钟下,单周期指令运行速度可达 12MIPS。一方面可获得很高的指令运行速度,另一方面,在相同的运行速度下,可大大降低时钟频率,有利于获得良好的电磁兼容效果。

### 3. 存储器性能的改善

新型单片机在内部存储器的改进方面,一是扩大容量,随着单片机应用系统越来越复杂,

其对存储器容量的要求越来越高；二是编程在线化，随着单片机的程序存储器由原来的 EPROM、E<sup>2</sup>PROM 发展到 Flash 或 ISP Flash 存储器，这为在线编程提供了条件，也方便了单片机应用系统的开发；三是单片机程序保密，写入程序存储器的代码很容易被复制，而 Flash 或 ISP Flash 存储器可以对其中的程序进行加锁和加密，从而达到对程序保密的目的。

#### 4. 增加了增强通信接口

目前，单片机与外围电路之间的数据通信已经越来越重要，绝大多数单片机都至少有一个全双工串行口。但随着半导体集成电路技术的发展，很多单片机还集成了 I<sup>2</sup>C、SPI、CAN 等接口，为系统的扩展及配置打下良好基础。

#### 5. 外围电路内装化

现在常规的单片机普遍把 CPU、ROM、RAM、中断源、定时器/计数器、串行口集成在一块芯片上，而增强型单片机在内部已集成了越来越多的部件，如模拟比较器、A/D 转换器、D/A 转换器、WDT 电路、LCD 控制器等，还有的单片机为了构成控制网络或形成局部网络，内部含有局部网络控制模块 CAN 总线，以方便构成一个控制网络。为了能在变频控制中方便使用单片机，有的单片机内部设置了专门用于变频控制的脉宽调制控制电路 PWM。

#### 6. 向片上系统 SoC 发展

SoC (System on Chip) 是一种高度集成化、固件化的芯片级集成技术，其核心思想是把除无法集成的某些外部电路和机械部分外的所有电子系统电路全部集成在一片芯片中。现在一些新型的单片机已经是 SoC 的雏形，在一片芯片中集成了各种类型和更大容量的存储器，更多性能更加完善和强大的功能电路接口，这使得原来需要几片甚至十几片芯片组成的系统，现在只用一片就可以实现。其优点不仅是减小了系统的体积和成本，而且也大大提高了系统硬件的可靠性和稳定性。

### 1.2.5 单片机的应用

#### 1. 应用领域

由于单片机具有可靠性高、体积小、价格低、易于产品化等特点，因而在智能仪器仪表、实时工业控制、智能终端、通信设备、导航系统、家用电器等领域获得广泛应用。

##### (1) 智能仪器仪表

用单片机改造原有的测量、控制仪表，能促进仪表向数字化、智能化、多功能化、综合化、柔性化方向发展，如温度、压力、流量、浓度显示等。通过采用单片机软件编程技术，使长期以来测量仪表中的误差修正、线性化处理等难题迎刃而解。

##### (2) 实时工业控制

用单片机可以构成各种工业控制系统、自适应系统、数据采集系统等，如温室人工气候控制、水闸自动控制、电镀生产线自动控制等。

##### (3) 机电一体化产品

单片机与传统的机械产品结合，使传统机械产品结构简化、控制智能化。例如，电传打字机的设计中由于采用了单片机，取代了近千个机械部件。

##### (4) 家用电器

全自动洗衣机、智能冰箱、各类小家电都无一例外地采用了单片机。

#### 2. 应用特点

单片机的应用主要在控制领域，它的应用和计算机应用有很大的不同，主要表现在以下几点。

### (1) 控制系统在线应用

由于控制对象和单片机联系密切，因而对设计者提出了很高的要求。他们不但要熟练掌握单片机，还要了解控制对象，懂得传感器技术，具有一定的控制理论知识等。

### (2) 软硬件结合

单片机应用系统的设计需要软件、硬件统筹考虑。设计者不但要熟练掌握汇编语言的编程技术，而且还必须精通单片机硬件系统和指令系统。

### (3) 应用现场环境恶劣

应用现场的环境一般是比较恶劣的。电磁干扰、电源波动、高低温等因素都会影响系统工作的稳定，设计者必须根据特定的环境采取正确的办法才能解决。

### (4) 微控制技术

由于单片机具有高可靠性、超小型、低价格、容易产品化等特点，因而在需要嵌入式的控制系统里得到了广泛的应用，而且过去必须由模拟和数字电路来实现的大部分功能，现在可以通过软件方法实现了。这种超小型的以软件取代硬件，并能提高系统性能的控制技术“软化”技术，称为微控制技术。随着单片机应用的推广普及，微控制技术的发展必将带动产品的升级换代及产业升级。

## 1.3 MCS-51 单片机及其兼容单片机简介

### 1.3.1 MCS-51 单片机

MCS-51 单片机是美国 Intel 公司于 20 世纪 80 年代初推出的 8 位微型计算机，具有多种芯片型号。具体来说，按内部资源配置的不同，MCS-51 单片机可分为两个子系列，见表 1.1。

表 1.1 MCS-51 单片机

资源配置 子系列	内部 ROM 形式				内部 ROM 容量	内部 RAM 容量	定时器/ 计数器	中断源
	无	ROM	EPROM	E <sup>2</sup> PROM				
MCS-51 子系列	8031	8051	8751	8951	4KB	128B	2	5
MCS-52 子系列	8032	8052	8752	8952	8KB	256B	3	6

随着 CHMOS 工艺的应用，在 MCS-51 单片机的基础上发展产生了 80C51 单片机系列。早期的 80C51 单片机只是 MCS-51 单片机众多芯片中的一类，但是随着后来的发展，80C51 单片机已经形成了独立的系列，并且成为 8 位单片机的典型代表。习惯上，我们仍然把 80C51 单片机系列作为 MCS-51 单片机的子系列。

### 1.3.2 AT89 系列单片机

AT89 系列单片机是 Atmel 公司的 8 位单片机系列。该系列单片机的最大特点是内部含有 Flash 存储器，而其他方面和 MCS-51 单片机没有太大的区别。AT89 系列单片机用途十分广泛，特别在便携式、省电和特殊信息保存的仪器和系统中显得更为有用。AT89 系列单片机主要产品及其性能见表 1.2。

表 1.2 AT89 系列单片机主要产品及其性能

型 号	AT89C51	AT89C52	AT89C1051	AT89C2051	AT89S8252
Flash 存储器 (KB)	4	8	1	2	8
内部 RAM (B)	128	256	64	128	256
I/O 口 (个)	32	32	15	15	32
定时器/计数器 (个)	2	3	1	2	3
中断源 (个)	6	8	3	6	9
串行口 (个)	1	1	1	1	1
M 加密/级	3	3	2	2	3
内部振荡器	有	有	有	有	有
E <sup>2</sup> PROM (KB)	无	无	无	无	2

### 1.3.3 STC 系列单片机

STC89C51RC/RD+系列单片机是宏晶科技公司于 2005 年在我国本土推出的一款具有全球竞争力的、与 MCS-51 兼容的单片机,是一种低功耗、高性能的 CMOS8 位微控制器,使用高密度非易失性存储器技术制造,内含高保密的可编程 Flash 存储器、32 位或 36 位可编程 I/O 口、6~8 个中断(4 个优先级)、3 个 16 位定时器/计数器、1 个通用串行口。在单芯片上拥有灵巧的 8 位 CPU、系统可编程 ISP、应用可编程 IAP。表 1.3 列出 STC89C51 系列单片机性能一览表。

表 1.3 STC89C51 系列单片机主要产品及其性能

型号	Flash 存储器 (KB)	RAM (B)	定时器/计数器	看门狗	双倍速	I/O 口	ISP	IAP	E <sup>2</sup> PROM (KB)	A/D 通道	串行口	中断源	优先级	速度 (Hz)
STC89C51RC	4	512	3	√	√	√	√	√	2		1	8	4	0~80M
STC89C52RC	8	512	3	√	√	√	√	√	2		1	8	4	0~80M
STC89C53RC	13	512	3	√	√	√	√	√			1	8	4	0~80M
STC89C54RD+	16	1280	3	√	√	√	√	√	16		1	8	4	0~80M
STC89C55RD+	20	1280	3	√	√	√	√	√	16		1	8	4	0~80M
STC89C58RD+	32	1280	3	√	√	√	√	√	16		1	8	4	0~80M
STC89C516RD+	63	1280	3	√	√	√	√	√			1	8	4	0~80M
STC89LE51RC	4	512	3	√	√	√	√	√	2		1	8	4	0~80M
STC89LE52RC	8	512	3	√	√	√	√	√	2		1	8	4	0~80M
STC89LE53RC	13	512	3	√	√	√	√	√			1	8	4	0~80M
STC89LE54RD+	16	1280	3	√	√	√	√	√	16		1	8	4	0~80M
STC89LE58RD+	32	1280	3	√	√	√	√	√	16		1	8	4	0~80M
STC89LE516RD+	63	1280	3	√	√	√	√	√			1	8	4	0~80M
STC89LE516AD	64	512	3			√	√	√		√	1	8	4	0~90M
STC89LE516X2	64	512	3		√	√	√	√		√	1	8	4	0~90M

STC 系列单片机采用 CMOS 工艺,型号中间带 C 的表示 5V 单片机,带 LE 的表示 3V 单片机。5V 单片机的工作电压为 3.4~5.5V,3V 单片机的工作电压为 2.0~3.8V。另外,STC89 系列单片机的端口驱动能力达到 20mA,具有正常模式(4~7mA)、空闲模式(1mA)和掉电模式(<0.1mA)3 种工作模式。

之后,STC 又陆续推出多个系列高性能单片机,在存储器容量、速度、内部资源甚至驱动能力等方面性能都有所提高。

### 1.3.4 C8051F 系列单片机

C8051F 系列单片机有 100 多个品种, 是 Cygnal 公司 (已被 Silicon Laboratories 公司收购) 推出的完全集成的混合信号系统级芯片, 具有与 8051 兼容的微控制器内核, 采用流水线结构, C8051F 系列单片机与 MCS-51 单片机指令集完全兼容, 单周期指令运行速度是 8051 的 12 倍, 全指令集运行速度是 8051 的 9.5 倍。C8051F 系列单片机的内部包括微控制器内核及 RAM、ROM、I/O 口、定时器/计数器、ADC、DAC、PCA (Printed Circuit Assembly, 印制电路组装)、SPI (Serial Peripheral Interface, 串行外设接口) 和 SMBus (System Management Bus) 等部件, 即把计算机的基本组成单元及模拟和数字外设集成在一个芯片上, 构成一个完整的片上系统 (SoC)。C8051F 系列单片机的具体介绍请见本书第 9 章。

## 1.4 计算机中的信息表示

在计算机内部信息都以二进制形式出现。信息可以分为两类: 一类为数值, 能进行加、减、乘、除等运算; 另一类称为数码, 用二进制数表示信息的代码。

### 1.4.1 机器数与机器数的表示形式

在计算机内部表示二进制数的方法称为数值编码, 把一个数及其符号在机器中的表示加以数值化, 称为机器数。机器数所代表的数的大小称为机器数的真值。为了表示实际的数值, 机器数需要解决两个问题: 一是正负号的表示, 二是小数点的表示。

#### 1. 机器数的符号

在算术运算中, 数据是有正有负的, 将这类数据称为带符号数。带有符号的机器数称为有符号数, 而不考虑正负的机器数称为无符号数。

无符号数所有的二进制位都表示其大小, 如 8 位字长的无符号整数, 最小值是  $0000\ 0000\text{B}=0$ , 最大值是  $1111\ 1111\text{B}=255\text{D}$ , 即机器数的范围是  $0\sim 255$ 。而字长为 16 位的无符号整数的最大值是  $1111\ 1111\ 1111\ 1111\text{B}=\text{FFFFH}=65535\text{D}$ , 此时机器数的范围是  $0\sim 65535$ 。

为了在计算机中正确地表示有符号数, 通常规定其二进制数的最高位为符号位, 并用 0 表示正数、1 表示负数。计算机中有符号数有原码、反码和补码 3 种表示方式。

#### (1) 原码表示法

原码表示法是机器数的一种简单的表示法。其符号位用 0 表示正号, 用 1 表示负号, 数值一般用二进制数形式表示。设有一数为  $X$ , 则原码表示可记作  $[X]_{\text{原}}$ 。

例如,  $X_1=+101\ 0110\text{B}$

$X_2=-100\ 1010\text{B}$

其原码记作:

$[X_1]_{\text{原}}=[+101\ 0110]_{\text{原}}=0101\ 0110$

$[X_2]_{\text{原}}=[-100\ 1010]_{\text{原}}=1100\ 1010$

原码表示数的范围与二进制位数有关。当用 8 位二进制数来表示整数原码时, 其表示范围: 最大值为  $0111\ 1111$ , 其真值为  $(+127)_{10}$ , 即  $(2^8-1)$ ;

最小值为  $1111\ 1111$ , 其真值为  $(-127)_{10}$ , 即  $-(2^8-1)$ 。

在原码表示法中, 对 0 有两种表示形式:

$[+0]_{\text{原}}=0000\ 0000$

$[-0]_{\text{原}}=1000\ 0000$

## (2) 反码表示法

机器数的反码可由原码得到。如果机器数是正数，则该机器数的反码与原码一样；如果机器数是负数，则该机器数的反码是对它的原码（符号位除外）各位取反而得到的。设有一数  $X$ ，则  $X$  的反码表示记作  $[X]_{\text{反}}$ 。

例如， $X_1=+101\ 0110\text{B}$

$$X_2=-100\ 1010\text{B}$$

则  $[X_1]_{\text{原}}=0101\ 0110$ ， $[X_1]_{\text{反}}=[X_1]_{\text{原}}=0101\ 0110$

$$[X_2]_{\text{原}}=1100\ 1010$$
， $[X_2]_{\text{反}}=1011\ 0101$

同样位数的二进制反码数的表示范围与原码一样。

## (3) 补码表示法

机器数的补码可由原码得到。如果机器数是正数，则该机器数的补码与原码一样；如果机器数是负数，则该机器数的补码是先求原码的反码，然后在末位加 1 得到。设有一数  $X$ ，则  $X$  的补码表示记作  $[X]_{\text{补}}$ 。

例如， $[X_1]=+101\ 0110\text{B}$

$$[X_2]=-100\ 1010\text{B}$$

则  $[X_1]_{\text{原}}=[X_1]_{\text{补}}=0101\ 0110$

$$[X_2]_{\text{原}}=1100\ 1010$$
， $[X_2]_{\text{补}}=1011\ 0101+1=1011\ 0110$

补码表示数的范围与二进制位数有关。当采用 8 位二进制数表示整数时，补码的表示范围：最大为 0111 1111，其真值为  $(+127)_{10}$ ，即  $(2^8-1)$ ；

最小为 1000 0000，其真值为  $(-128)_{10}$ ，即  $-2^8$ 。

在补码表示法中，0 只有一种表示形式：

$$[+0]_{\text{补}}=0000\ 0000$$

$[-0]_{\text{补}}=1111\ 1111+1=0000\ 0000$ （由于受设备字长的限制，最后的进位丢失）所以有  $[+0]_{\text{补}}=[-0]_{\text{补}}=0000\ 0000$ 。

## (4) 补码与真值之间的转换

正数补码的真值等于补码本身；负数补码转换为其真值时，将负数补码按位求反，末位加 1，即可得到该负数补码对应的真值的绝对值。而对一个补码数求反再加 1 的运算，称为求补，其实就相当于该补码数乘  $(-1)$ 。

例如， $[X_1]_{\text{补}}=0101\ 1001\text{B}$ ， $[X_2]_{\text{补}}=1101\ 1001\text{B}$ ，分别求其真值  $X_1$ ， $X_2$ 。

$[X_1]_{\text{补}}$  代表的数是正数，其真值：

$$X_1=+101\ 1001\text{B}$$

$$=+(1 \times 2^6 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^0)$$

$$=+(64 + 16 + 8 + 1)$$

$$=+89$$

$[X_2]_{\text{补}}$  代表的数是负数，则真值：

$$X_2=-([101\ 1001]_{\text{补}} \text{求反} + 1)$$

$$=-(010\ 0110 + 1)\text{B}$$

$$=-(010\ 0111)\text{B}$$

$$=-(1 \times 2^5 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0)$$

$$=-(32 + 4 + 2 + 1)$$

$$=-39$$

## 2. 机器数中小数点的位置

在机器数中，小数点的位置通常有两种约定方式：一种称为定点表示法，其表示的机器数称为“定点数”；另一种称为浮点表示法，其表示的机器数称为“浮点数”。

### (1) 定点表示法

所谓定点表示法是指小数点的位置固定不变，这个固定的位置是事先约定的。有两种最常用的定点表示法：如果约定小数点在整个数的最后，即此时的数据为纯整数，这种定点数称为定点整数；如果约定小数点在整个数的最前面，即此时的数据为纯小数，这种定点数称为定点小数。

### (2) 浮点表示法

浮点表示法的小数点位置不是固定的，可以浮动。

对于任何数制的数  $N$ ，都可表示为：

$$N=M \times R^E$$

式中， $M$  称为  $N$  的尾数，为纯小数， $R$  为基数， $E$  为  $N$  的阶码，为纯整数。例如：

$$-12.45D = -0.1245 \times 10^2$$

此时基数  $R=10$ ，阶码  $E=2$ ，尾数  $M=-0.1245$ 。

对于二进制数，同样可表示为：

$$N=M \times 2^E$$

例如， $0.00101B = 0.101 \times 2^{-2}$ 。

浮点数就是把表示该数的  $n$  位二进制位分成两部分，一部分表示阶码，为定点整数，另一部分表示尾数，为定点小数。比如上面的小数，如果尾数和阶码各占 4 个二进制位，则可以表示为如图 1.2 所示的形式。

由于阶码  $E$  为纯整数，其数值不同就代表着小数点位置的不同，即改变阶码相当于改变了数的小数点位置，也就是小数点位置浮动。

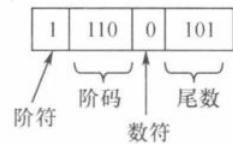


图 1.2 浮点数表示示意图

## 1.4.2 计算机的信息编码

常用的计算机中编码可以分两类：一是数的编码，二是字符的编码。

### 1. 二十进制编码

由于人们日常生活中使用的是十进制数，因此在计算机中最常用的就是用几个二进制位给十进制数进行编码，通常称为二十进制编码（BCD 码）。

由于十进制数的每位数码为 0~9，通常用 4 个二进制位来表示，而最常用的为 8421BCD 码，即 4 个二进制位按照数位，分别以 8、4、2、1 权重进行相加，可以得到对应的数码，即用 0000~1001 分别对应表示 0~9。

### 2. ASCII 码

计算机中的字符有西文字符、汉字和其他符号信息，最常用的字符编码是 ASCII 码（American Standard Code for Information Interchange）。ASCII 码是“美国信息交换标准代码”的简称，由美国国家标准化协会（ANSI）制定，由于应用广泛，ASCII 码被国际标准化组织（ISO）规定为国际通用标准代码。

ASCII 码由一组 7 位二进制代码（ $b_6b_5b_4b_3b_2b_1b_0$ ）组成，共计 128 个，见表 1.4。