

高职高专系列教材



# 单片机C语言教程

邹益民 主编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

高职高专系列教材

# 单片机 C 语言教程

邹益民 主编

中国石化出版社

## 内 容 提 要

单片机 C51 语言是目前最流行的 MCS51 系列单片机程序设计语言。本书以“基础、实用”为原则,通过基础知识与大量实例结合的形式,循序渐进地讲解了 C51 应用编程的各种方法与技巧,是一本重在应用、兼顾理论的实用教程。

全书共 9 章,通过大量的典型实例全面详细地讲述了单片机的 C 语言程序设计规范及应用案例。第 1 章为基础知识,首先简要介绍了 C51 单片机的硬件结构、指令系统及开发应用特点;第 2 章~第 7 章介绍 C51 编程语言的基本规范、常用开发工具的使用、C 语言与汇编混合编程等知识;第 8 章结合单片机的硬件资源讲解了如何应用 C51 语言进行编程操作;第 9 章介绍了在各个领域中常用到的一些 C 语言编程典型案例,以供读者在学习和工作中参考,同时对所学知识融会贯通,从而开阔思路,提高实际工作能力。

本书特别适合单片机及其编程语言的初学者,可作为大专院校电子信息类、通信类、自动化类、机电类专业学生学习与实践单片机 C 语言程序设计的教材或参考书,或进行单片机课程设计、毕业设计和大学生电子设计竞赛的参考用书,也可供从事自动控制、智能仪器仪表、电力电子、机电一体化等专业的单片机应用开发技术人员参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

单片机 C 语言教程 / 邹益民主编. —北京: 中国石化出版社, 2009  
(高职高专系列教材)  
ISBN 978 - 7 - 5114 - 0165 - 6

I. ①单… II. ①邹… III. ①单片微型计算机 - C 语言 - 程序设计 - 高等学校: 技术学校 - 教材 IV. ①TP368.1②TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 221012 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

### 中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

北京科信印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

\*

787 × 1092 毫米 16 开本 13.25 印张 326 千字  
2010 年 1 月第 1 版 2010 年 1 月第 1 次印刷  
定价:28.00 元

# 前 言

第一台电子数字计算机的诞生引发了 20 世纪 的电子工业革命，而单片机的问世和飞速发展则开创了计算机工程应用的另一个新时代。由于单片机具有高性价比、高速度、低功耗和方便功能扩展等优点，被广泛应用于工业控制系统、数据采集系统、自动测试系统、智能仪表以及各类功能模块等广阔领域。单片机技术也成为电子信息类各专业的一门必修课程。

Intel 公司的 MCS-51 单片机是目前在我国应用最广泛的单片机之一。20 世纪 80 年代中期，Intel 公司将 8051 内核使用权以专利互换或出售形式转给世界许多著名 IC 制造厂商，如 Philips、Atmel、Dallas、Infineon、ADI、TI、Winbond 和 Silicone Labs 公司等。这样，8051 就变成有众多制造厂商支持、发展出上百个品种的大家族。到目前为止，其他任何一个单片机系列均未发展到如此的规模。随着硬件的发展，8051 软件工具已有 C 级编译器及实时多任务操作系统 RTOS(Real Time Operating System)。在 RTOS 的支持下，单片机的程序设计更简单、更可靠，因而 8051 是单片机教学的首选机型。

单片机的程序设计可以采用汇编语言和单片机 C51 语言。C51 是在通用 C 语言基础上发展起来的专门用于 51 系列单片机编程的编译型高级语言。与汇编语言相比，C51 具备可读性、可移植性、可维护性好、编译效率高等特点，兼具功能丰富的函数库，且可直接实现对系统硬件的控制，以上特点使 C51 语言逐渐成为单片机应用中的主流编程语言。目前国内最流行的 C51 编译器是 Keil Software 公司推出的 Keil C51。

综上所述，用 C 语言进行 51 系列单片机程序设计是单片机开发与应用的必然趋势。单片机的程序设计应该以 C 语言为主，以汇编语言为辅。汇编语言掌握到只要可以读懂程序，在时间要求比较严格的模块中实现程序的优化即可。采用 C51 语言无需对单片机和硬件接口有很深入的了解，编译器可自动完成变量的存储单元分配；采用 C51 语言还可方便地实现单片机的程序移植工作，有利于产品中单片机的重新选型；C51 语言的模块化及可读性强的优点，有利于程序模

块的共享，并有助于开发者借鉴前人的开发经验，提高软件设计水平。随着国内单片机开发工具研制水平的提高，现在的单片机仿真器普遍支持 C 语言程序的调试，为使用 C 语言进行单片机开发提供了更多的便利条件。

为了便于读者学习，本书遵循由浅入深、循序渐进的学习规律，详细讲解了单片机硬件及软件资源，C51 语言规范以及使用 C51 语言对单片机内部资源进行控制的方法。最后，以多个典型案例讲解了 C51 语言的综合应用。通过学习本书，读者不但可以掌握单片机 C51 语言，而且可以迅速开展单片机的程序开发。

本书由邹益民主编，其他参与编著和资料整理的人员有丁丁、马莉、杜韦辰。

在编写本书的过程中参考了相关文献，在此向这些文献的作者深表感谢！由于时间仓促，再加之作者水平有限，书中出现的疏漏及不妥之处，恳请读者和各位同仁批评指正。

# 目 录

第 1 章 单片机基础知识 .....	( 1 )
1.1 单片机简介 .....	( 1 )
1.1.1 单片机的发展史 .....	( 1 )
1.1.2 单片机的基本组成 .....	( 2 )
1.1.3 单片机的特点 .....	( 3 )
1.1.4 单片机的应用领域 .....	( 4 )
1.1.5 单片机的发展方向 .....	( 4 )
1.1.6 8051 单片机系列成员 .....	( 6 )
1.2 8051 的内部结构 .....	( 7 )
1.2.1 中央处理器 .....	( 7 )
1.2.2 存储器组织 .....	( 10 )
1.2.3 片内并行接口 .....	( 12 )
1.2.4 8051 的内部资源 .....	( 15 )
1.2.5 8051 的芯片引脚 .....	( 15 )
1.2.6 单片机的工作方式 .....	( 16 )
1.3 8051 的系统扩展 .....	( 19 )
1.3.1 外部总线的扩展 .....	( 19 )
1.3.2 外部程序存储器的扩展 .....	( 20 )
1.3.3 外部数据存储器的扩展 .....	( 23 )
1.4 8051 指令系统 .....	( 25 )
1.4.1 指令基本格式 .....	( 25 )
1.4.2 寻址方式 .....	( 26 )
1.4.3 指令说明 .....	( 27 )
1.4.4 伪指令 .....	( 33 )
1.4.5 指令系统表 .....	( 34 )
1.5 实用汇编程序设计 .....	( 37 )
1.5.1 顺序程序 .....	( 37 )
1.5.2 分支程序 .....	( 37 )
1.5.3 循环程序 .....	( 38 )
1.5.4 查表程序 .....	( 39 )
1.5.5 散转程序 .....	( 39 )
1.6 本章小结 .....	( 41 )
第 2 章 C 与 8051 .....	( 45 )
2.1 8051 的编程语言 .....	( 45 )

2.2	C51 编译器 .....	( 45 )
2.3	Keil C51 开发工具 .....	( 46 )
2.3.1	Keil C51 开发系统基本知识 .....	( 46 )
2.3.2	在 Keil $\mu$ Vision 下创建应用程序 .....	( 48 )
2.3.3	在 Keil $\mu$ Vision 下调试程序 .....	( 52 )
2.4	C51 程序设计简介 .....	( 55 )
2.5	本章小结 .....	( 57 )
<b>第 3 章</b>	<b>C51 数据与运算 .....</b>	<b>( 58 )</b>
3.1	数据与数据类型 .....	( 58 )
3.2	常量与变量 .....	( 60 )
3.3	C51 数据的存储类型与 8051 存储器结构 .....	( 61 )
3.3.1	存储类型 .....	( 61 )
3.3.2	存储模式 .....	( 62 )
3.4	8051 特殊功能寄存器(SFR)及其 C51 定义 .....	( 63 )
3.5	8051 并行接口及其 C51 定义 .....	( 64 )
3.6	位变量(BIT)及其 C51 定义 .....	( 65 )
3.7	C51 的运算符与表达式 .....	( 66 )
3.7.1	C51 的算术运算符与算术表达式 .....	( 66 )
3.7.2	C51 的关系运算符与关系表达式 .....	( 67 )
3.7.3	C51 的逻辑运算符与逻辑表达式 .....	( 68 )
3.7.4	C51 的条件运算符与条件表达式 .....	( 69 )
3.7.5	C51 的逗号运算符与逗号表达式 .....	( 69 )
3.7.6	C51 中的位操作符及其表达式 .....	( 70 )
3.7.7	复合运算符及其表达式 .....	( 71 )
3.8	本章小结 .....	( 72 )
<b>第 4 章</b>	<b>C51 流程控制语句 .....</b>	<b>( 73 )</b>
4.1	C51 语言程序的基本结构及流程图 .....	( 73 )
4.1.1	顺序结构及其流程图 .....	( 73 )
4.1.2	选择结构及其流程图 .....	( 73 )
4.1.3	循环结构及其流程图 .....	( 74 )
4.2	选择语句 .....	( 75 )
4.2.1	选择语句 if .....	( 75 )
4.2.2	switch/case 语句 .....	( 77 )
4.3	循环语句 .....	( 78 )
4.3.1	while 语句 .....	( 78 )
4.3.2	do-while 语句 .....	( 79 )
4.3.3	for 循环语句 .....	( 79 )
4.3.4	循环结束语句 .....	( 81 )
4.4	本章小结 .....	( 82 )

<b>第5章 C51 构造数据类型</b>	( 83 )
5.1 数组	( 83 )
5.1.1 一维数组	( 83 )
5.1.2 二维数组	( 84 )
5.1.3 字符数组	( 85 )
5.1.4 查表	( 86 )
5.1.5 数组与存储空间	( 86 )
5.2 指针	( 87 )
5.2.1 指针的基本概念	( 87 )
5.2.2 数组指针和指向数组的指针变量	( 90 )
5.2.3 指向多维数组的指针和指针变量	( 91 )
5.2.4 Keil C51 的指针类型的特殊要求	( 92 )
5.3 结构(Structure)	( 93 )
5.3.1 结构的定义和引用	( 93 )
5.3.2 结构数组	( 95 )
5.3.3 指向结构类型数据的指针	( 96 )
5.4 联合(union)	( 99 )
5.5 枚举(enum)	( 100 )
5.6 本章小结	( 101 )
<b>第6章 C51 的函数</b>	( 103 )
6.1 函数的分类	( 103 )
6.2 函数的定义	( 104 )
6.3 函数的参数和函数值	( 107 )
6.4 函数的调用	( 108 )
6.4.1 函数调用的一般形式	( 108 )
6.4.2 函数调用的方式	( 108 )
6.4.3 对被调用函数的说明	( 109 )
6.4.4 函数的嵌套	( 109 )
6.4.5 函数的递归调用	( 109 )
6.4.6 用函数指针变量调用函数	( 110 )
6.5 数组、指针作为函数的参数	( 112 )
6.5.1 用数组作为函数的参数	( 112 )
6.5.2 用指向函数的指针变量作为函数的参数	( 113 )
6.5.3 用指向结构的指针变量作函数的参数	( 115 )
6.5.4 返回指针的函数	( 116 )
6.6 本章小节	( 117 )
<b>第7章 模块化程序设计</b>	( 119 )
7.1 基本概念	( 119 )
7.2 模块化程序开发	( 121 )
7.3 连接/定位器	( 123 )



7.4	C51 语言与汇编语言的混合编程 .....	(124)
7.4.1	Keil C51 和 A51 接口所涉及的几个主要问题 .....	(125)
7.4.2	在 C51 中调用汇编程序应用举例 .....	(126)
7.4.3	Keil C51 初始化代码 .....	(129)
7.5	程序优化 .....	(132)
7.6	本章小结 .....	(133)
<b>第 8 章</b>	<b>8051 内部资源的 C51 编程 .....</b>	<b>(134)</b>
8.1	中断 .....	(134)
8.1.1	中断源 .....	(134)
8.1.2	中断的控制 .....	(135)
8.1.3	中断响应 .....	(136)
8.1.4	寄存器组切换 .....	(137)
8.1.5	中断编程 .....	(138)
8.2	定时器/计数器(T/C) .....	(140)
8.2.1	与 T/C 有关的特殊功能寄存器 .....	(140)
8.2.2	定时器/计数器的工作方式 .....	(141)
8.2.3	定时器/计数器的初始化 .....	(142)
8.2.4	定时器/计数器的应用实例 .....	(142)
8.3	串行口 .....	(144)
8.3.1	与串行口有关的 SFR .....	(145)
8.3.2	串行口的工作方式 .....	(146)
8.3.3	串行口初始化 .....	(147)
8.3.4	串行口应用范例 .....	(148)
8.4	本章小结 .....	(149)
<b>第 9 章</b>	<b>C 语言编程示例 .....</b>	<b>(151)</b>
9.1	带有串行 EEPROM 的 CPU 监控器 X5045 .....	(151)
9.1.1	X5043/5045 简介 .....	(151)
9.1.2	X5045 与单片机的连接 .....	(152)
9.1.3	读写 X5045 的 C 语言程序 .....	(152)
9.2	涓流充电时钟保持芯片 DS1302 .....	(156)
9.2.1	DS1302 简介 .....	(156)
9.2.2	DS1302 与单片机的连接 .....	(157)
9.2.3	读写 DS1302 的 C 语言程序 .....	(157)
9.3	串行 EEPROM 芯片 AT24C04/512 .....	(162)
9.3.1	AT24C04/512 简介 .....	(162)
9.3.2	AT24C04/512 与单片机的连接 .....	(162)
9.3.3	读写 AT24C04/AT24C512 的 C 语言程序 .....	(163)
9.4	I <sup>2</sup> C 接口的实时时钟/日历芯片 P8563 .....	(168)
9.4.1	P8563 简介 .....	(168)
9.4.2	P8563 与单片机的连接 .....	(169)

9.4.3 读写 P8563 的 C 语言程序 .....	(169)
9.5 单芯片温度测量芯片 DS1820 .....	(174)
9.5.1 DS1820 简介 .....	(174)
9.5.2 DS1820 与单片机的连接 .....	(176)
9.5.3 读写 DS1820 的 C 语言程序 .....	(176)
9.6 2 路 8 位串行模/数转换器 TLC0832 .....	(178)
9.6.1 TLC0832 简介 .....	(178)
9.6.2 TLC0832 与单片机的连接 .....	(179)
9.6.3 读写 TLC0832 的 C 语言程序 .....	(179)
9.7 LED 驱动芯片 MAX7219/7221 .....	(182)
9.7.1 MAX7219/7221 简介 .....	(182)
9.7.2 MAX7219/7221 与单片机的连接 .....	(184)
9.7.3 基于 MAX7221 在 LED 上显示十六位数据的 C 语言程序 .....	(184)
9.8 1602 字符液晶模块控制 .....	(186)
9.8.1 1602 字符液晶模块简介 .....	(186)
9.8.2 1602 字符液晶模块与单片机的连接 .....	(188)
9.8.3 控制 1602 字符液晶显示的 C 语言程序 .....	(189)
9.9 语音录放芯片 ISD4002 .....	(193)
9.9.1 ISD4002 芯片简介 .....	(193)
9.9.2 ISD4002 与单片机的连接 .....	(195)
9.9.3 基于 ISD4002 的语音录放系统的 C 语言编程 .....	(196)
9.10 本章小结 .....	(200)
参考文献 .....	(201)

# 第 1 章 单片机基础知识

## 1.1 单片机简介

单片机是一种集成电路芯片，采用超大规模技术把具有数据处理能力的微处理器(CPU, Central Processing Unit)、随机存取数据存储器(RAM, Random Access Memory)、只读程序存储器(ROM, Read - only Memory)、输入输出电路(I/O 接口)，可能还包括定时计数器、串行通信口、显示驱动电路(LCD 或 LED 驱动电路)、脉宽调制电路(PWM)、模拟多路转换器及 A/D 转换器等电路集成到单块芯片上，构成一个最小然而完善的计算机系统。这些电路能在软件的控制下准确、迅速、高效地完成程序设计者事先规定的任务。

单片机控制系统能够取代以前利用复杂电子线路或数字电路构成的控制系统，可单独地实现现代工业控制所要求的绝大多数智能化控制功能。现在单片机控制范畴无所不在，例如通信产品、家用电器、智能仪器仪表、过程控制和专用控制装置等等，单片机的应用领域越来越广泛。

### 1.1.1 单片机的发展史

1974 年，美国仙童(Fairchild)公司研制了世界上第一台单片微型机 F8。该机由两块集成电路芯片组成，深受民用电器和仪器仪表领域的欢迎和重视。从此，单片机开始迅速发展，应用领域也不断扩大。单片机的发展过程通常可以分为以下几个发展阶段。

#### 1. 第一代单片机(1974 ~ 1976)

这是单片机发展的起步阶段。在这个时期生产的单片机特点是：制造工艺落后和集成度低，而且采用了双片形式。典型的代表产品有 Fairchild 公司的 F8 和 Mostek 公司的 MK3870 等。

#### 2. 第二代单片机(1976 ~ 1978)

这是单片机的第二发展阶段。这个时期的单片机才是真正的 8 位单片微型计算机，它以体积小、功能全、价格低赢得了广泛的应用，为单片机的发展奠定了基础，成为单片机发展史上重要的里程碑。这个时代生产的单片机虽然已能在单块芯片内集成 CPU、并行口、定时器、RAM 和 ROM 等功能部件，但性能低、品种少，应用范围也不是很广。典型的产品有 Intel 公司的 MCS - 48 系列等。

#### 3. 第三代单片机(1979 ~ 1982)

这是 8 位单片机成熟的阶段。这一代单片机和前两代相比，不仅存储容量和寻址范围大，而且中断源、并行 I/O 口和定时器/计数器个数都有了不同程度的增加，并集成了全双工串行通信接口。在指令系统方面，普遍增设了乘除法和比较指令。这一时期生产的单片机品种齐全，可以满足各种不同领域的需要。代表产品有 Intel 公司的 MCS - 51 系列，Motorola 公司的 MC6801 系列，TI 公司的 TMS7000 系列等。

#### 4. 第四代单片机(1983 年以后)

此时的单片机均属于真正的单片化，大多集成了 CPU、RAM、ROM、数目繁多的 I/O 接口、多种中断系统，甚至还有一些带 A/D 转换器的单片机，功能越来越强大，RAM 和

ROM 的容量也越来越大，寻址空间可达 64kB。可以说，单片机发展到了一个全新阶段，应用领域更广泛，许多家用电器均走向利用单片机控制的智能化发展道路。

1982 年以后，16 位单片机问世，代表产品有 Intel 公司的 MCS96 系列，TI 公司的 TMS9900，NEC 公司的 783 × × 系列和 NS 公司的 HPC16040 等。16 位单片机比起 8 位机，数据宽度增加了一倍，实时处理能力更强，同时配置了多路的 A/D 转换通道、高速的 I/O 处理单元，适用于更复杂的控制系统。

90 年代以后，单片机获得了飞速的发展，世界各大半导体公司相继开发了功能更为强大的单片机。美国 Microchip 公司发布了一种完全不兼容 MCS - 51 的新一代 PIC 系列单片机，引起了业界的广泛关注，特别它的产品只有 33 条精简指令集，吸引了不少用户，使人们从 Intel 的 111 条复杂指令集中走出来。随后，更多的单片机种蜂拥而至，Motorola 公司相继发布了 MC68HC 系列单片机，其 MC68HC05 系列以高速、低价等特点赢得了不少用户。Zilog 公司的 Z8 系列产品代表作是 Z8671，内含 BASIC Debug 解释程序，极大地方便用户。ATMEL 公司则把单片机技术与先进的 Flash 存储技术完美地结合起来，发布了性能相当优秀的 AT89 系列单片机。包括中国台湾的 HOLTEK 和 WINBOND 等公司也纷纷加入了单片机发展行列，凭着他们廉价的优势，分享一杯羹。此外，Intel 公司的 88044 (双 CPU 工作)、Zilog 公司的 Super8 (含 DMA 通道)、Motorola 公司的 MC68HC11 (内含 EEPROM 及 A/D 电路) 和 WDC 公司的 65C124 (内含网络接口电路) 等，也各自代表了单片机的发展方向。

1990 年美国 Intel 公司推出了 80960 超级 32 位单片机成为单片机发展史上又一个重要的里程碑。

此期间，单片机园地里，单片机品种异彩纷呈，争奇斗艳。有 8 位、16 位甚至 32 位机，但 8 位单片机仍以它的价格低廉、品种齐全、应用软件丰富、支持环境充分、开发方便等特点而占着主导地位。高性能、大容量和多功能的新型 8 位单片机仍然是当前应用的主流。

### 1.1.2 单片机的基本组成

单片机的结构特征是将组成计算机的基本部件集成在一块晶体芯片上，构成一台功能独特的、完整的单片微型计算机。图 1.1 为单片机的典型结构框图。

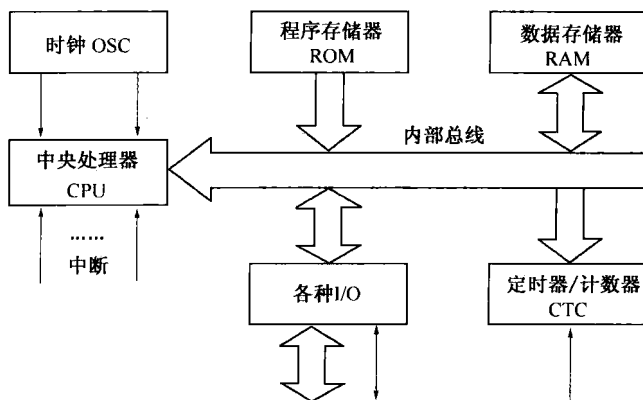


图 1.1 单片机的典型结构框图

下面简要介绍各组成部分。

#### 1. 中央处理器

单片机中的中央处理器 CPU 由运算器和控制器组成，另外增设了“面向控制”的处理功

能，如位处理、查表、多种跳转、状态检测、中断处理等，增强了实时性。

## 2. 存储器

单片机的存储空间有两种基本结构。一种是冯·诺依曼(Von Neumann)结构，将程序和数据合用一个存储器空间，用同类的访问指令。另一种是将程序存储器和数据存储器截然分开，称为哈佛(Harvard)结构。CPU用不同的指令访问不同的存储器空间。MCS-51系列的单片机均采用程序存储器和数据存储器截然分开的哈佛结构。

### (1) 数据存储器(RAM)

在单片机中，用随机存取的存储器(RAM)来存储数据，所以也称之为数据存储器。一般在单片机内部设置一定容量(64~256B)的RAM，并以高速RAM的形式集成在单片机内，以加快单片机的运行速度。对于某些应用系统，还可以外部扩展数据存储器。

### (2) 程序存储器(ROM)

单片机的应用中常常将开发调试成功后的应用程序存储在程序存储器中，因为无需改变，所以这种存储器都采用只读存储器ROM的形式。

单片机内部的程序存储器常有以下几种形式：

① 掩膜ROM(Mask ROM)。它是由半导体厂家在芯片生产封装时，将用户的应用程序代码通过掩膜工艺制作到单片机的ROM区中，一旦写入后用户则不能修改。所以它适合于程序已定型，并大批量使用的场合。8051就是采用掩膜ROM的单片机型号。

② EPROM。此种芯片带有透明窗口，可通过紫外线擦除程序存储器的内容。应用程序代码通过专门的写入器脱机写入到单片机中，需要更改时则可通过紫外线擦除后重新写入。8751就是采用EPROM的单片机型号。

③ ROMLESS。这种单片机内部没有程序存储器，使用时常在外部扩展若干片EPROM作为程序存储器。8031就是ROMLESS型的单片机。

④ OTP(One Time Programmable)ROM。这是用户可一次性编程写入的程序存储器。用户可通过专用的写入器将应用程序写入OTPROM中，但只允许写入一次。

⑤ Flash ROM(MTP ROM)闪速存储器。这是一种可由用户多次编程写入的程序存储器。它不需紫外线擦除，编程与擦除完全用电实现。例如AT89系列单片机，可实现在线编程，也可下载。这是目前大力发展的一种ROM，已基本取代EPROM型产品。

## 3. 并行I/O口

单片机为了突出控制的功能，提供了数量多、功能强、使用灵活的并行I/O口。使用上不仅可灵活地选择输入或输出，还可作为系统总线或控制总线，从而为扩展外部存储器和I/O接口提供了方便。

## 4. 串行I/O口

高速的8位单片机都可提供全双工串行I/O口，便于实现和其他终端设备的串行通信。

## 5. 定时器/计数器

在实际的应用中，单片机往往需要精确地定时，或者需对外部事件进行计数，因而在单片机内部设置了定时器/计数器电路，通过中断，实现定时/计数的自动处理。

### 1.1.3 单片机的特点

单片机独特的结构决定了它具有如下特点。

#### 1. 高集成度、高可靠性

单片机将各功能部件集成在一块晶体芯片上，集成度很高，体积自然较小。芯片本身是

按工业测控环境要求设计的，内部布线很短，其抗工业噪音性能优于一般通用的 CPU，故可靠性高。

## 2. 控制功能强

为了满足对对象的控制要求，单片机的指令系统均有极丰富的条件/分支转移能力、I/O 口的逻辑操作及位处理能力，非常适用于专门的控制功能。

## 3. 低电压、低功耗

为了满足广泛使用于便携式系统，许多单片机内的工作电压仅为 1.8 ~ 3.6V，而工作电流仅为数百微安。

## 4. 优异的性能价格比

单片机的性能极高。为了提高速度和运行效率，单片机已开始使用 RISC 流水线和 DSP 等技术。单片机的寻址能力也已突破 64kB 的限制，有的已达到 1MB 和 16MB，片内的 ROM 容量可达 62MB，RAM 容量则可达 2MB。由于单片机的广泛使用，因而销量极大，各大公司的商业竞争更使其价格十分低廉，其性能价格比极高。

### 1.1.4 单片机的应用领域

由于单片机功能的飞速发展，它的应用范围日益广泛，已远远超出了计算机科学的领域。小到玩具、信用卡，大到航天器、机器人，从实现数据采集、过程控制、模糊控制等智能系统到人类的日常生活，到处都离不开单片机。其主要的应用领域如下：

#### 1. 在智能仪器仪表上的应用

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，单片机与不同类型的传感器相结合，可实现诸如电压、功率、频率、温度、压力、流量、速度等物理量的测量。单片机应用于仪器仪表设备中促使仪器仪表向数字化、智能化、微型化、多功能化和综合化等方向发展。单片机的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. 在工业控制中的应用

用单片机可以构成形式多样的工业控制系统、数据采集系统。例如，工业上的锅炉控制、电机控制、车辆检测系统、电梯智能化控制、水闸自动控制、数控机床及军事上的雷达、导弹系统等以及工厂流水线的智能化管理。

#### 3. 在人类生活中的应用

单片机由于其价格低廉、体积小巧，被广泛应用在人类生活的诸多场合，如洗衣机、电冰箱、空调器、电饭煲、视听音响设备、大屏幕显示系统、电子玩具、信用卡、楼宇防盗系统等。单片机将使人类的生活更加方便舒适，丰富多彩。

此外，单片机在工商，金融，科研，教育，国防、航空航天等领域均有着十分广泛的用途。

### 1.1.5 单片机的发展方向

计算机系统的发展已明显地朝三个方向发展：巨型化，单片化，网络化。以解决复杂系统计算和高速数据处理为目标的巨型机仍在朝高速及高处理能力的方向努力。单片机在出现时，Intel 公司就给它单片机取名为嵌入式微控制器 (Embedded Microcontroller)。单片机最明显的优势，就是可以嵌入到各种仪器、设备中。这一点是巨型机和网络不可能做到的。

目前，用户对单片机的需求越来越多，要求也越来越高，单片机技术正在向以下几个方面发展。

### 1. 内部结构的进步

单片机在内部已集成了越来越多的部件，这些部件包括一般常用的电路，例如：定时器，比较器，A/D 转换器，D/A 转换器，串行通信接口，Watchdog 电路，LCD 控制器等。有的单片机为了构成控制网络或形成局部网，内部含有局部网络控制模块 CAN。例如，Infineon 公司的 C505C、C515C、C167CR、C167CS - 32FM、81C90；Motorola 公司的 68HC08AZ 系列等。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，这些单片机有 Fujitsu 公司的 MB89850 系列、MB89860 系列；Motorola 公司的 MC68HC08MR16、MR24 等。

特别引人注目的是，现在有的高档单片机已采用所谓的三核(TrCore)结构。这种单片机由三个核组成：一个是微控制器和 DSP 核，一个是数据和程序存储器核，最后一个外围专用集成电路(ASIC)。将 DSP 高速计算和特殊处理如快速傅立叶变换等能力与传统单片机的功能集成大大提高了单片机的性能，这种单片机最典型的有 Infineon 公司的 TC10GP；Hitachi 公司的 SH7410、SH7612 等。

### 2. 功耗、封装及电源电压的进步

现在新的单片机的功耗越来越小，很多单片机都设置了多种低功耗工作模式，包括等待、暂停、睡眠、空闲、节电等工作方式。Philips 公司的单片机 P87LPC762 是一个很典型的例子，在空闲时，其功耗为 1.5 mA，而在节电方式中，其功耗只有 0.5mA。在功耗上最令人惊叹的是 TI 公司的单片机 MSP430 系列，它是一个 16 位字长的机型，低功耗方式有 LPM1、LPM3、LPM4 三种。当电源为 3V 时，如果工作于 LPM1 模式，由于 CPU 不活动，振荡器处于 1~4MHz，这时功耗只有 50 $\mu$ A；在 LPM3 模式，振荡器处于 32kHz，这时功耗只有 1.3 $\mu$ A；在 LPM4 模式，CPU、外围及振荡器 32kHz 都不活动，则功耗只有 0.1 $\mu$ A。

此外，现在的产品普遍要求体积小、重量轻，这就要求单片机除了功能强和功耗低外，还要求其体积更小，SMD(表面封装)越来越受欢迎，使得由单片机构成的系统正朝微型化方向发展。Microchip 公司推出的 8 引脚单片机特别引人注目，这是 PIC12CXXX 系列。它含有 0.5~2kB 程序存储器，25~128B 数据存储器，6 个 I/O 端口以及一个定时器，有的还含 4 路 A/D，完全可以满足一些低端系统的应用。

扩大电源电压范围以及在较低电压下工作也是今天单片机发展的目标之一。目前，一般单片机都可以在 3.3~5.5V 的条件下工作，而一些厂家甚至生产出可以在 2.2~6V 的条件下工作的单片机。这些单片机有 Fujitsu 公司的 MB89191~89195、MB89121~125A、MB89130 系列等。而 TI 公司的 MSP430X11X 系列的工作电压也可高达 2.2V。

### 3. 工艺上的进步

现在的单片机基本上采用 CMOS 技术，但已经大多数采用了 0.6 $\mu$ m 以上的光刻工艺，有个别的公司，如 Motorola 公司则已采用 0.35 $\mu$ m，甚至是 0.25 $\mu$ m 技术，这些技术的进步大大地提高了单片机的内部密度和可靠性。

### 4. 主流与多品种共存

现在虽然单片机的品种繁多，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 C8051 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。

#### 5. 单片机的外围电路内装化、多样化

随着单片机集成度的提高，可以把众多的外围功能器件集成到单片机内。除了 CPU、ROM、RAM 外，还可把 A/D、D/A 转换器、DMA 控制器、声音发生器、监视定时器、液晶驱动电路、锁相电路等一并集成在芯片内。为了减少外部的驱动芯片，进一步增强单片机的并行驱动能力，有的单片机可直接输出大电流和高电压，以便直接驱动显示器。为进一步加快 I/O 口的传输速度，有的单片机还设置了高速 I/O 口，可用最快的速度触动外部设备，也可以用最快的速度响应外部事件。

#### 6. 以单片机为核心的网络嵌入式系统

随着计算机网络技术的普及与发展，把单片机嵌入式系统和 Internet 连接已是一种趋势。为了使复杂的或简单的嵌入式设备，例如单片机控制的机床、单片机控制的门锁，能切实可行地和 Internet 连接，就要求专门为嵌入式微控制器设备设计网络服务器，使嵌入式设备可以和 Internet 相连，并通过标准网络浏览器进行过程控制。

目前，为了实现以单片机为核心的嵌入式系统和 Internet 相连，已有多家公司在进行这方面的研究。这方面较为典型的有 emWare 公司和 TASKING 公司。

EmWare 公司提出嵌入式系统入网的方案——EMIT 技术。这个技术包括三个主要部分：即 emMicro、emGateway 和网络浏览器。其中，emMicro 是嵌入设备中的一个只占内存容量 1kB 的极小的网络服务器；emGateway 可用于实现对多个嵌入式设备的管理，还有标准的 Internet 通信接入以及网络浏览器的支持。网络浏览器使用 emObjects 进行显示和嵌入式设备之间的数据传输。EmWare 的 EMIT 软件技术使用标准的 Internet 协议对 8 位和 16 位嵌入式设备进行管理，其开销比传统方法小得多。

TASKING 公司已把 emWare 的 EMIT 软件包和有关的软件配套集成，形成一个集成开发环境，向用户提供开发方便。并与嵌入互联网联盟 ETI(embed the Internet Consortium)紧密合作，共同开发嵌入式 Internet 的解决方案。

#### 1.1.6 8051 单片机系列成员

自从 1974 年美国 Fairchild 公司研制出第一台单片机 F8 之后，迄今为止，单片机经历了由 4 位机到 8 位机再到 16 位机的发展过程。现今它本身的内容和应用领域、应用理念，同成长期相比，有了很大的发展进步。不但单体功能更趋复杂，其门类多变的不同行业应用也让我们眼花缭乱。

目前，单片机制造商众多，主要有 Atmel、NXP(Philips)、Winbonds、SST、Microchip、Motorola、Zilog 等公司，并正朝着高性能、多品种方向发展。近年来，32 位单片机也已进入了实用阶段，但是由于 8 位单片机在性能价格比上占有优势，因此在未来相当长的时期内，8 位单片机仍是单片机的主流机型。其中使用最为广泛的仍属 MCS-51 系列单片机，本书将以此系列单片机为研究对象，介绍单片机的硬件结构、工作原理及 C 语言软件设计的知识与技巧。

MCS-51 系列单片机种类繁多，表 1.1 给出了部分器件的参数。

MCS-51 系列单片机采用两种半导体工艺生产。一种是 HMOS 工艺，即高速度、高密度、短沟道 MOS 工艺；另外一种是 CHMOS 工艺，即互补金属氧化物的 HMOS 工艺。表 1.1 中，芯片型号中带有字母“C”的，为 CHMOS 芯片，其余均为 HMOS 芯片。



表 1.1 MCS-51 系列单片机分类

子系列	片内 ROM 形式			片内 ROM 容量	片内 RAM 容量	寻址 范围	I/O 特性			中断源
	无	ROM	EPROM				计数器	并行口	串行口	
51 子系列	8031	8051	8751	4kB	128B	2 * 64kB	2 * 16	4 * 8	1	5
	80C31	80C51	87C51	4kB	128B	2 * 64kB	2 * 16	4 * 8	1	5
52 子系列	8032	8052	8752	8kB	256B	2 * 64kB	3 * 16	4 * 8	1	6
	80C32	80C52	87C52	8kB	256B	2 * 64kB	3 * 16	4 * 8	1	6

CHMOS 是 CMOS 和 HMOS 的结合，除保持了 HMOS 高速度和高密度的特点之外，还具有 CMOS 低功耗的特点。例如，8051 的功耗为 630 mW，而 80C51 的功耗只有 120 mW。在便携式、手提式或野外作业仪器设备上，低功耗是非常有意义的。

此外，MCS-51 单片机片内程序存储器有三种配置形式，即掩膜 ROM、EPROM 和无 ROM。这三种配置形式对应三种不同的单片机芯片，它们各有特点，也各有其适用场合，在使用时应根据需要进行选择。一般情况下，片内带掩膜型 ROM(典型芯片为 8051)，类似的还有 OTP (One Time Programming)一次可编程 ROM(典型芯片为 8751)，适用于定型大批量应用产品的生产；片内带 EPROM(典型芯片为 8751)，类似的还有带 FLASH 型(典型芯片为 89C51)，适合于研制产品样机；无 ROM 型的芯片，必须外接 EPROM 才能应用(典型芯片为 8031)，适用于开发新产品。

从表 1.1 中还可以看出，MCS-51 系列又分为 51 和 52 两个子系列。其中，51 子系列是基本型，而 52 子系列则属增强型。52 子系列功能增强的具体方面，是片内 ROM 从 4kB 增加到 8kB；片内 RAM 从 128 B 增加到 256 B；定时/计数器从 2 个增加到 3 个；中断源从 5 个增加到 6 个。

## 1.2 8051 的内部结构

图 1.2 是 8051 单片机内部结构的总框图。

从图 1.2 我们可以看出 8051 单片机包含下列部件：

- ① 一个 8 位微处理器 CPU。
- ② 片内数据存储器 RAM 和特殊功能寄存器 SFR。
- ③ 片内程序存储器 ROM。
- ④ 两个定时/计数器 T0、T1，可用作定时器，也可用以对外部脉冲进行计数。
- ⑤ 四个 8 位可编程的并行 I/O 端口 P0 ~ P3，每个端口既可作输入，也可作输出。
- ⑥ 一个串行端口，用于数据的串行通信。
- ⑦ 中断控制系统。
- ⑧ 内部时钟电路。

### 1.2.1 中央处理器

中央处理器也称 CPU(Central Processing Unit)，是单片机的核心部件，它完成各种运算和控制操作，8051 的 CPU 主要由运算器和控制器两部分组成。

#### 1. 运算器

运算器以算术逻辑单元 ALU 为核心，加上累加器 ACC 和程序状态字寄存器 PSW(Pro-