

高等学校电气信息类“十三五”规划教材

华东交通大学教材（专著）基金资助项目

# 单片机原理及应用

## 基础教程

陈慧 刘举平 等编著

DANPIAN WEIJI  
YUANLI JI YINGYONG  
JICHU JIAOCHENG



化学工业出版社

高等学校电气信息类“十三五”规划教材

华东交通大学教材（专著）基金资助项目

# 单片微机原理及应用

## 基础教程

陈慧 刘举平 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书以 80C51 为代表, 系统、全面地阐述了 51 系列单片微型计算机的硬件组成及工作原理、汇编语言和 C51 语言体系及其程序设计方法、系统扩展的原理及方法、接口技术及其应用基础, 并简要介绍了单片机应用系统设计、开发及调试的原则、步骤、方法及常用的开发工具。

本书内容根据教学需要进行编排, 兼顾实际工程应用。在编写过程中力求内容充实、概念准确; 由浅入深、循序渐进; 有点有面、重点突出。为便于读者更好地理解 and 掌握相关知识, 本书配有大量的例题, 例题的设计上兼顾到了典型性、实用性和可拓展性; 并且本书在每章结束后均附有思考题。

本书可作为高等院校电子信息工程、电气工程及其自动化、机械工程及其自动化、自动化等相关专业单片机课程的教材, 也可供从事单片机开发应用方面的工程技术人员阅读和参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

单片微机原理及应用基础教程/陈慧等编著. —北京:  
化学工业出版社, 2016. 12  
高等学校电气信息类“十三五”规划教材  
ISBN 978-7-122-28406-8

I. ①单… II. ①陈… 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 (2016) 第 258260 号

---

责任编辑: 郝英华  
责任校对: 吴 静

装帧设计: 韩 飞

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)  
印 装: 三河市延风印装有限公司  
787mm×1092mm 1/16 印张 16 字数 395 千字 2017 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 35.00 元

版权所有 违者必究

## 前言

目前,国内本科院校电气信息类、机械类、计算机类相关专业普遍开设了单片机原理及应用方面的课程,其中许多专业还将它列为重要的必修课程。本书是编者结合各开设专业的特点,将自身长期从事相关教学和科研的经验成果悉心总结、提炼而成的。

本书以经典的80C51为代表,介绍了51系列单片机的硬件结构及原理、编程语言及程序设计方法,进而阐述了单片机系统扩展、常用接口技术,最后就单片机应用系统开发的相关知识进行了较深入的探讨。本书对各章节内容和编排顺序进行了精心地组织,全书包括以下8章:第1章单片机基础知识导论;第2章51单片机硬件基础;第3章汇编语言及其程序设计;第4章51单片机中断、定时/计数器及串行接口;第5章单片机系统扩展的原理及方法;第6章接口技术及其应用基础;第7章C51语言及其程序设计;第8章51单片机应用系统开发。为便于读者更好地理解本书内容的重点和难点,以及帮助读者检验学习的效果,书中每一章都附有思考题。

全书内容组织合理,深入浅出,循序渐进,层次分明;知识点阐述上力求用语精准、细致和全面,以期更好地为读者服务。主要特色有:①在第1章适当补充相关预备知识以满足初学者,尤其是非计算机专业学生的需求;②在第3章和第7章分别安排了汇编语言和C51语言及程序设计的内容,并阐述了将两者结合进行混合汇编的方法,从而较全面地涵盖了程序设计的知识;③在第8章中向读者简介了目前最实用的51单片机开发软件Keil  $\mu$ Vision及Proteus;④本书在例题及思考题的设计上,力求把握相关内容的重点和难点知识,注重题目的典型性、实用性和可拓展性。

本书配有精心制作的电子课件可供用书院校使用,如有需要请发邮件至 [cipedu@163.com](mailto:cipedu@163.com) 索取。

本书由陈慧、刘举平等编著,参与本书编写和程序调试工作的还有李志刚、胡爱闽、罗智中、章海亮、余为清及吴至境,所有编写人员均长期从事单片机原理及应用相关的教学及研究工作。另外,陈浩参与了本书的文字核错工作。

由于编者水平有限,书中若有缺点或不妥之处,敬请读者批评指正,谢谢!

编者

2016年9月

## 第 1 章 单片机基础知识导论 1

1.1 基本术语及定义 .....	1
1.2 单片微型计算机概述 .....	2
1.2.1 微型计算机及其系统组成 .....	2
1.2.2 单片微型计算机及其应用 .....	4
1.3 数制及数制间的转换 .....	7
1.3.1 常用进位计数制 .....	8
1.3.2 数制之间的转换 .....	9
1.3.3 二进制数的运算 .....	11
1.4 计算机中数的表示方法 .....	13
1.4.1 真值与机器数 .....	13
1.4.2 原码、反码与补码 .....	14
1.4.3 溢出的判别 .....	15
1.4.4 定点数与浮点数 .....	16
1.5 计算机常用编码 .....	18
1.5.1 字符的 ASCII 码及奇偶检验 .....	18
1.5.2 BCD 码及其十进制调整 .....	20
思考题 .....	21

## 第 2 章 51 单片机硬件基础 22

2.1 80C51 单片机概述 .....	22
2.1.1 80C51 内部功能结构 .....	22
2.1.2 80C51 引脚定义及总线结构 .....	23
2.2 中央处理器 CPU .....	26
2.2.1 运算部件 .....	27
2.2.2 控制部件 .....	28
2.2.3 CPU 时序 .....	29
2.3 存储器 .....	30
2.3.1 程序存储器 .....	30

2.3.2	内部数据存储器	31
2.3.3	外部数据存储器	34
2.4	并行 I/O 接口	34
2.4.1	P0 接口	34
2.4.2	P1 接口	36
2.4.3	P2 接口	36
2.4.4	P3 接口	37
2.5	80C51 的工作方式	38
2.5.1	程序运行方式	38
2.5.2	低功耗方式	38
	思考题	39

### 第 3 章 汇编语言及其程序设计

41

3.1	汇编语言概述	41
3.1.1	汇编语言源程序及其汇编	41
3.1.2	汇编语言指令类型与指令格式	41
3.1.3	汇编语言指令常用符号	42
3.1.4	操作数寻址方式	43
3.2	51 单片机汇编语言指令体系	45
3.2.1	数据传送类指令	45
3.2.2	算术运算类指令	49
3.2.3	逻辑运算及循环移位类指令	52
3.2.4	转移控制类指令	54
3.2.5	位操作类指令	58
3.2.6	伪指令	59
3.3	汇编语言程序设计	61
3.3.1	汇编语言程序设计步骤	61
3.3.2	程序基本结构及设计方法	63
3.3.3	数码转换程序设计	67
3.3.4	运算程序设计	70
3.3.5	查表程序设计	74
3.3.6	散转程序设计	75
3.3.7	延时程序设计	76
	思考题	77

### 第 4 章 51 单片机中断、定时/计数器及串行接口

79

4.1	中断系统	79
4.1.1	中断系统概述	79

4.1.2	中断源及中断申请的建立	80
4.1.3	中断响应的条件	81
4.1.4	中断响应的过程	83
4.1.5	中断的应用	84
4.2	定时/计数器	86
4.2.1	定时/计数器结构及原理	86
4.2.2	定时/计数器的工作方式	88
4.2.3	定时/计数器的应用	90
4.3	串行通信及串行接口	92
4.3.1	串行通信概述	92
4.3.2	80C51 串行口结构及工作原理	95
4.3.3	80C51 串行口的应用	98
	思考题	101

## 第 5 章 单片机系统扩展的原理及方法

103

5.1	单片机系统扩展概述	103
5.1.1	系统扩展的内容及方法	103
5.1.2	常用扩展器件简介	104
5.1.3	存储单元及 I/O 端口的编址	105
5.2	存储器的扩展	108
5.2.1	程序存储器扩展	109
5.2.2	数据存储器扩展	111
5.3	I/O 接口扩展	114
5.3.1	并行 I/O 接口扩展	114
5.3.2	串行 I/O 接口的扩展	115
	思考题	117

## 第 6 章 接口技术及其应用基础

119

6.1	常用并行 I/O 接口芯片	119
6.1.1	接口芯片 8255A 及其应用	119
6.1.2	接口芯片 8155 及其应用	124
6.2	键盘及其接口	130
6.2.1	键盘的结构及工作原理	130
6.2.2	键盘接口及其应用	134
6.3	LED 数码显示器及其接口	137
6.3.1	LED 数码显示器结构及原理	137
6.3.2	多位 LED 数码显示器接口及其应用	139
6.4	LCD 显示器及其接口	142

6.4.1	LCD 显示器结构及原理 .....	142
6.4.2	LCD 显示器的特点及分类 .....	143
6.4.3	LCD 显示器接口及其应用 .....	144
6.5	D/A 转换器及其接口 .....	150
6.5.1	D/A 转换器结构及原理 .....	150
6.5.2	D/A 转换芯片 DAC0832 及其应用 .....	152
6.6	A/D 转换器及其接口 .....	157
6.6.1	A/D 转换器结构及原理 .....	157
6.6.2	A/D 转换芯片 ADC0809 及其应用 .....	158
	思考题 .....	162

## 第 7 章 C51 语言及其程序设计

164

7.1	C51 语言及程序结构的特点 .....	164
7.1.1	C51 语言特点 .....	164
7.1.2	C51 程序结构特点 .....	164
7.1.3	C51 预处理命令 .....	166
7.2	C51 数据与运算 .....	168
7.2.1	数据类型 .....	168
7.2.2	常量与变量 .....	173
7.2.3	运算符与表达式 .....	177
7.3	C51 流程控制语句与函数 .....	179
7.3.1	流程控制语句 .....	179
7.3.2	函数 .....	182
7.4	C51 程序设计举例 .....	186
7.4.1	单片机基本 I/O 口应用 .....	186
7.4.2	访问外部数据存储器空间 .....	187
7.4.3	外部中断的应用 .....	188
7.4.4	定时器/计数器的应用 .....	189
7.4.5	串行口的应用 .....	190
7.5	C51 语言与汇编语言的混合编程 .....	192
7.5.1	混合汇编的基本方式 .....	192
7.5.2	C51 与汇编之间的参数传递 .....	193
7.5.3	混合汇编的实现方法 .....	194
	思考题 .....	195

## 第 8 章 51 单片机应用系统开发

197

8.1	系统总体方案设计 .....	197
8.2	硬件设计 .....	198



8.3	软件设计 .....	200
8.4	可靠性设计 .....	201
8.5	系统调试 .....	204
8.6	51 单片机应用系统设计实例 .....	208
8.6.1	四相步进电机控制系统设计 .....	208
8.6.2	十字路口交通信号控制系统设计 .....	212
	思考题 .....	233

<b>附录 A</b>	<b>51 系列单片机指令表</b>	<b>234</b>
-------------	--------------------	------------

<b>附录 B</b>	<b>C51 库函数</b>	<b>237</b>
-------------	----------------	------------

<b>参考文献</b>		<b>247</b>
-------------	--	------------

# 第 1 章 单片机基础知识导论

## 1.1 基本术语及定义

为帮助初学者更好地理解本书的内容，介绍微型计算机领域一些基本术语及定义。

### (1) 位 (bit)

位定义为计算机能够表示的最小最基本的单位。由于计算机中采用二进制表示信息，所以位就是一个二进制位，有两种状态“0”和“1”，对应于一个开关量。

### (2) 字节 (Byte)

相邻的 8 位二进制数称为一个字节，即  $1 \text{ Byte} = 8 \text{ bit}$ 。例如：11000011。

### (3) 字与字长 (Word)

字的基本定义是 CPU (Central Processing Unit) 内部进行数据处理的基本单位。字长则指的是每个字所包含的二进制位数，字长是衡量 CPU 工作性能的一个重要参数，它通常与 CPU 内部的寄存器、运算装置和总线宽度一致。例如：某 CPU 内含 8 位运算器，则参加运算的数及结果均以 8 位表示，最高位产生的进位或借位在 8 位运算器中不保存，而将其保存到标志寄存器中。

实际中常将“字”用作二进制的单位，此时，一个字定义为相邻的 16 位二进制数，即  $1 \text{ Word} = 2 \text{ Byte}$ 。在此基础上还定义了比字更大的单位：双字 (DWord)，一个双字定义为相邻的 32 位二进制数，即  $1 \text{ DWord} = 4 \text{ Byte}$ 。

### (4) 位编号

为便于描述，对字节、字和双字中的各位用从 0 开始的整数进行编号，称之为位编号。位编号从右边的低位开始到左边的高位依次为 0, 1, 2, ...。字节的位编号如图 1-1 所示，字、双字的位编号依此类推。

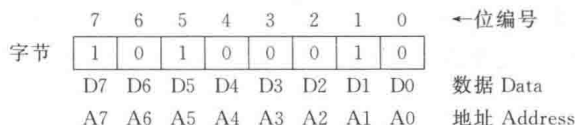


图 1-1 字节位编号示意图



### (5) 指令系统与程序

指令是 CPU 能执行的一个基本操作的表达，如取数、加、减、乘、除、存数等。

指令系统是 CPU 所能执行的全部操作的集合，即全部指令的集合。不同的 CPU，其指令系统有所不同。

程序是用户使用计算机解决特定问题时，利用指令系统中指令编写的相应指令序列。

### (6) 寄存器

寄存器是用来存放信息的一种基本逻辑电路部件。根据所存放信息的不同，有指令寄存器、数据寄存器、地址寄存器等，各类寄存器在计算机中普遍存在。

### (7) 译码器

译码器是将输入代码转换成相应输出信号的逻辑电路。根据译码内容不同可分为指令译码器和地址译码器两类。

① 指令译码器 指令译码器的功能是将指令代码转换成该指令所需的各种控制信号。其工作原理：CPU 设计者对 CPU 所有指令进行了编码；用户用指令编写程序后，CPU 从内存读取程序中的指令，对指令进行译码从而发出执行该指令功能所需的各种信号。

② 地址译码器 地址译码器的功能是将地址信号转换成各个地址单元相应的选通信号。

## 1.2 单片微型计算机概述

### 1.2.1 微型计算机及其系统组成

#### (1) 微型计算机基本组成

一般认为微型计算机主机硬件包括四个部分：CPU、存储器、总线和输入/输出接口（又称 I/O 接口），如图 1-2 所示。主机之外的设备称为外部设备（简称外设），指的是通过 I/O 接口与主机相连的各种输入或输出型设备。

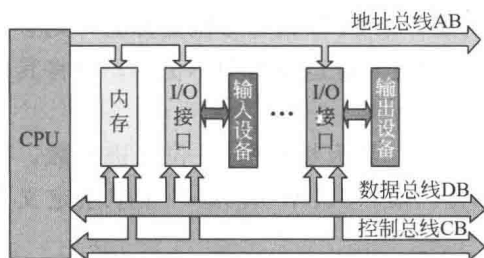


图 1-2 微型计算机硬件组成框图

一次数据传送可能达到的最高传送位数。例如，某微机数据总线宽度是 8 位，这表示该微机执行一次数据传送操作时最多能够传送 8 位数据。

地址总线：地址总线是单向的，用于传送由 CPU 输出的地址信号，以确定被访问的存储单元或 I/O 端口。地址总线的宽度（即地址线的总根数/条数/位数）决定了 CPU 的寻址能力。例如，某微机地址总线宽度是 10 根，这表示该微机执行一次数据传送操作时最多能够传送 8 位数据。

控制总线：控制总线用于在 CPU 与存储器、I/O 接口之间传送各种控制信号，控制信号有的是 CPU 发出的，有的是存储器或者 I/O 接口发出的，因此是双向的。

② 中央处理器 CPU CPU 是微型计算机的核心部件，用于控制并实现指令的自动读取和执行。CPU 是微型计算机中结构最复杂的部件，含有累加器、寄存器、算术逻辑部件、控制部件、时钟发生器、内部总线等。本书第 2 章将详细阐述 MCS-51 单片机 CPU 的结构及功能。

③ 内存 微机主机内含的存储器简称内存，用于存储程序和数据信息。如图 1-3 所示，内存由地址译码器、内存单元等组成，CPU 发出的地址经地址译码器转换为各内存单元相应的选通信号。

④ 输入/输出接口 (I/O 接口) I/O 接口电路指的是协调和实现计算机与外设之间数据传送用的电路部件，简称接口。计算机每连接一个外设就需要一个相应的接口，接口的主要功能如下：

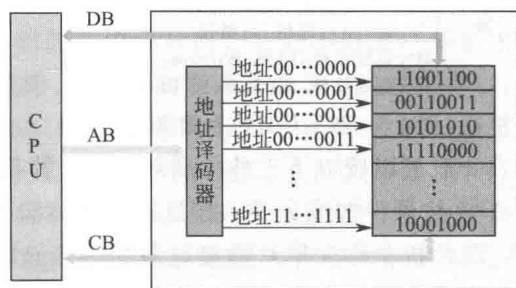


图 1-3 内存结构示意图

a. 协调 CPU 与外设的速度差异。一般外设速度远低于 CPU，因而必须在确认外设已为数据传送做好准备的前提下，CPU 才能进行数据的输入/输出操作。这就需要通过接口电路将外设的状态信息传送给 CPU，据此协调 CPU 与外设之间的速度差异。

b. 信号转换。计算机只能输入或输出特定电平系列的数字信号，但一些外设能提供的或所需要的并不是这样的信号。因此需要接口对其进行信号转换，例如 TTL/MOS 电平转换、D/A 及 A/D 转换等。

c. 输入三态及输出锁存。数据输入时为维护系统公用数据总线的正常传送秩序，只允许当前时刻正在进行数据传送的数据源使用数据总线，其余数据源则要与数据总线隔离，为此接口必须能为数据输入提供三态缓冲功能。数据输出时由于 CPU 工作速度快，数据在总线上只停留短暂的时间，无法满足慢速外设的需要，为此接口中需要配置数据锁存电路用以保存 CPU 输出的数据直至外设接收。

I/O 接口结构及功能示意如图 1-4 所示，其中 I/O 端口部分是接口应用中的重点，CPU 正是通过对接口中各端口的读/写操作来实现与外设的数据交换。端口指的是接口中用以完成某种信息传送，且可以由编程人员寻址进行读/写操作的寄存器，简称为“口”。关于端口有：

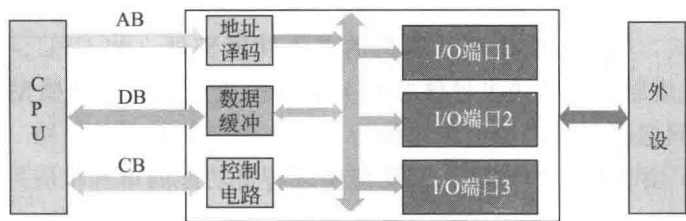


图 1-4 I/O 接口结构示意图

- a. 一个接口至少含有一个端口，也可以含有多个端口。
- b. 端口根据所寄存信息的类型不同，分为数据端口、状态端口、命令端口等。
- c. 每个 I/O 端口都有自己的端口地址，该地址在计算机系统中应具有唯一性。



d. 所谓 CPU 寻址外设是以端口作为实际的访问单元。

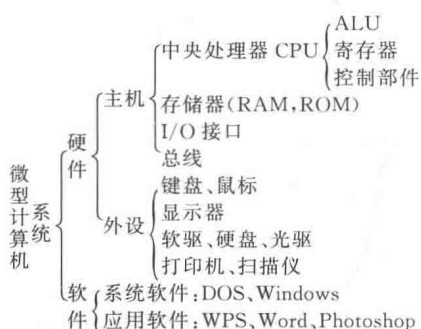


图 1-5 微型计算机系统组成

由于外设的多样性，I/O 接口的结构和功能也是多种多样的。常见外设及其 I/O 接口如下：键盘→键盘接口、显示器→显卡、鼠标→USB 接口、网络→网卡、打印机→并行接口、音箱或麦克风→声卡。

### (2) 微型计算机系统组成

微型计算机系统组成如图 1-5 所示。

### (3) 微型计算机分类

一般可以按以下三种标准对微型计算机进行分类。

① 按硬件构成分类。按这种分类方法可将微型计算机分为单片机、单板机和多板机。

单片机全称为单片微型计算机 (Single Chip Microcomputer)，是将 CPU、内存、I/O 接口电路全部集成制造在一块芯片上构成的微型计算机。具有超小型、高可靠性、价格低廉的特点，常用于智能仪表、工业实时控制、家用电器等领域。单片机典型产品有 Intel 公司的 51 系列和 96 系列，Motorola 公司的 6801、6805 系列以及 Hitachi (日立) 公司的 H8S、SH 系列单片机等。

单板机是将 CPU、内存、I/O 接口及其他辅助电路全部制作在一块印刷电路板上组成的微型计算机。其特点是结构简单、价格低廉，主要应用在过程控制、数据处理方面。单板机典型产品为以 Z80CPU 为核心的单板机 TP-801。

多板机是把 CPU、内存、I/O 接口芯片安装制造在多块印刷电路板上，各印刷电路板插在主机板的总线插槽上，通过系统总线连接起来而构成的微型计算机。其特点是功能较强，最具代表性的产品为 IBM 公司的 PC 机。

② 按 CPU 字长分类。按这种分类方法，可将微型计算机分为 4 位机、8 位机、16 位机、32 位机和 64 位机等。CPU 字长指的是其内部的寄存器的宽度，是 CPU 性能的主要参数。

③ 按主机装置分类。按这种分类方法可将微型计算机分为桌上型 (例如台式电脑) 和便携型 (例如笔记本、掌上电脑) 两类。

## 1.2.2 单片微型计算机及其应用

单片微型计算机，是将组成微型计算机的基本功能部件，如 CPU、存储器、总线、输入/输出接口等，集成制造在一块半导体芯片上从而构成一个完整的微型计算机，简称单片机。解决实际控制问题时，常需要以单片机为核心，外接各种硬件电路 (通过扩展接口连接的外设及被控对象) 并配以相应软件，构建能实现特定功能的单片机应用系统。

### (1) 单片机发展简史

从 1975 年美国 TEXAS 公司首次发布 TMS1000 系列 4 位单片机开始短短几十年内，单片机的发展十分迅猛，至今其种类已达到几百种。单片机的发展史大致可分以下 4 个阶段。

① 4 位单片机以及低档 8 位单片机阶段。自 TMS1000 系列单片机问世之后，众多计算机厂商竞相推出多款 4 位单片机。知名产品有美国 National Semiconductor 公司的 COP402

系列、Rockwell公司的PPS/1系列、日本NEC公司的 $\mu$ PD75系列等。

1976年美国Intel公司推出MCS-48系列单片机开创了8位单片机时代。同类产品有Motorola公司6801系列、Zilog公司Z-8系列以及Rockwell公司6501、6502等。这些单片机集成度为几千支管/片，寻址范围小于8KB，且一般没有串行接口，属于低档8位单片机。

② 高档8位单片机以及16位单片机阶段。1978~1983年间高性能8位单片机相继出现，其中最具代表性的当属Intel公司于1980年出品的MCS-51系列。此外还出现了诸如Intel公司的8X52、Zilog公司的Super8等更高性能的8位单片机，它们不但进一步扩大了片内ROM和RAM的容量，同时还增加了通信功能、DMA功能以及高速I/O功能等。

此后，Intel、National Semiconductor以及NEC等公司还推出了16位单片机，最著名的是Intel公司于1983年推出的MCS-96系列。这些16位机不仅配置了多个并行、串行I/O口、定时/计数器以及多级中断处理系统；还具有高速输入/输出（HSIO）、脉宽调制（PWM）以及监视定时器（Watchdog）等多种功能，因此运算速度和控制功能大大提高，实时处理能力很强。

③ 微控制器（MCU）阶段。许多IC公司，如Philip、Atmel、Dallas、NEC等，以MCS-51中8051为内核推出了适合各种嵌入式应用的单片机产品。这些产品将A/D、D/A、PWM及Watchdog等功能纳于芯片中，加强了外围电路的功能，使得单片机具有微控制器特征。

④ 嵌入式系统应用阶段。现阶段单片机走向了嵌入式系统的独立发展之路，寻求应用在芯片上的最大化解决。出现了高速、大寻址范围、强运算能力的各种8位、16位和32位的通用及专用单片机。因此，专用单片机的发展自然形成了片上系统（SOC）化趋势。随着微电子技术、IC设计、EDA工具的发展，基于SOC的单片机应用系统设计会有更大的发展。

## (2) 单片机的主要类型

① 51系列单片机。尽管单片机种类繁多，以Intel 8051为内核的各种51系列单片机仍然是目前最常用的单片机品种。

a. Intel公司的MCS-51系列。MCS-51是单片机发展史中一个经典的8位机系列，包括51子系列和52子系列，共有12种芯片，如表1-1所示。

表 1-1 MCS-51 系列单片机

系列	片内存储器				定时器/ 计数器	并行 I/O	串行 I/O	中断源	制造工艺
	无 ROM	片内 ROM	片内 EPROM	片内 RAM					
MCS-51 子系列	8031	8051 4KB	8751 4KB	128	2×16位	4×8位	1	5	HMOS
	80C31	80C51 4KB	87C51 4KB	128	2×16位	4×8位	1	5	CHMOS
MCS-52 子系列	8032	8052 8KB	8752 8KB	256	3×16位	4×8位	1	6	HMOS
	80C232	80C252 8KB	87C252 8KB	256	3×16位	4×8位	1	7	CHMOS

MCS-51系列产品片内配备了128B RAM，32条I/O口线，2个定时/计数器，5（或6）



个中断源。MCS-51 系列产品因其应用成熟，学习资料齐全，被单片机开发设计人员广泛接受。本书以该系列产品为例来介绍单片机的硬件原理、指令系统及编程应用等内容。

b. Philips 公司的 51 单片机。Philips 公司的 80C562 和 87C591 是基于 8051 内核的单片机。80C562 单片机在 8051 的基础上有所提高，配备了 256B RAM，48 条 I/O 口线，3 个定时/计数器，14 个中断源。87C591 是比 80C562 配置更强的单片机，配备了 256B RAM 及 256B AXURAM，32 条 I/O 口线，3 个定时/计数器，15 个中断源，还备有 SJA 1000 CAN、10 位 ADC、WDT 以及 I<sup>2</sup>C 总线。

c. Cygnal 公司的 C8051F 系列。C8051F 系列内部资源非常丰富。如 C8051F020 单片机内部除包含 MCS-51 的基本配置之外还具有 ADC、DAC、PCA、SPI 和 SMBUS 等部件，这种将单片机基本组成单元与模拟、数字外设集成在一个芯片上实际组成了片上系统 (SOC)。此外，C8051F 系列单片机采用流水线结构，使其指令运行速度大约达到 8051 的 12 倍。

d. ATMEL 公司的 8 位单片机。ATMEL 公司的 8 位单片机有 AT89、AT90 两个系列，AT89 系列是 8 位 Flash 单片机，与 8051 系列单片机相兼容，静态时钟模式；AT90 系列单片机是增强 RISC 结构、全静态工作方式、内载在线可编程 Flash 的单片机，也叫 AVR 单片机。

② PIC 系列单片机。PIC 系列单片机是 Microchip 公司的产品，其 PIC16C 系列和 PIC17C 系列是与 MCS-51 对应的 8 位单片系列。PIC 系列单片机的特点：采用完全哈佛结构，指令和数据空间及传输路径完全分开，提高了数据吞吐率；采用流水线形式，执行指令的同时允许取出下一条指令，实现了单周期指令；采用寄存器组结构，其 RAM 及 I/O 口、定时器和程序计数器等都以寄存器方式工作和寻址，只需一个指令周期就可以完成访问和操作；采用 RISC (精简指令集计算机) 结构，与传统采用 CISC 结构的单片机相比，不仅指令数量少易学易记，而且系统具有较高的代码压缩能力，有利于提高程序执行速度。

PIC 系列单片机功能全、种类多，开发者可根据不同用途和要求设计出性价比较高的单片机控制装置。因此它们广泛应用于工业控制、电子消费产品及汽车电子等领域，其产量和市场占有率位于前列。

③ TI 公司的单片机。美国 TI 公司 1996 年推出了一种 RISC 结构的 16 位单片机系列 MSP430。MSP430 系列的主要特点有：运算处理能力强，有丰富的寻址方式和简洁的内核指令，8MHz 时钟驱动下指令周期仅为 125ns；超低功耗设计，工作电压 1.8~3.6V，有两个时钟、五种不同的工作模式，可以在指令控制下接通和关断时钟从而实现了对总体功耗的控制 (例如：在 1MHz 时钟下运行时芯片取用电流在 200~400 $\mu$ A 左右，而在时钟关断模式运行时最低维持电流只有 0.1 $\mu$ A。)；具有丰富的片上外围模块，集成了模拟比较器、硬件乘法器、10/12 位 ADC、液晶驱动器、I<sup>2</sup>C 总线和 DMA、WDT 等；具有 OPT、FLASH 和 ROM 3 种类型的开发环境，方便高效；片内有 JTAG (Joint Test Action Group) 调试接口，通过 PC 机和 JTAG 调试器获取片内信息，使设计者在调试开发时无需仿真器和编程器，开发工具简便，可以实现在线编程，开发语言有汇编语言和 C 语言；此外，MSP430 系列产品均为工业级因而适合工业环境下使用。

### (3) 单片机的应用

单片机又分为通用型单片机和专用型单片机两大类。前者是把可开发资源，如 ROM、



I/O 接口等,全部提供给应用者的单片机;后者则是为了过程控制、参数监测、信号处理等方面的特殊需要而设计的单片机。由于单片机具有体积小、功耗低、功能强、扩展灵活、可靠性高和性价比高的优点,因而在智能仪器、工业自动化控制、家用电器、通信、医疗及航空航天等多方面得到广泛应用。

① 智能仪器仪表。单片机在各类仪器仪表(例如功率计、示波器、各种分析仪及各种智能 IC 卡)中应用得十分广泛。单片机的使用有助于提高仪器仪表自动化程度和精度,使其向数字化、智能化、微型化、多功能化及柔性化方向发展。由单片机构成的智能仪表集测量、处理和控制在功能于一体,可实现诸如电压、功率、频率、温度、湿度、流量、速度、长度、压力等的测量。

② 工业自动化控制。自动化技术中数据采集、过程控制等的实现都离不开单片机。利用单片机可以构成形式多样的工业控制系统、数据采集系统及自适应控制系统(例如,流水线智能管理、电梯智能控制、各种工业报警系统等),用单片机实时进行数据处理和控制可以使系统保持最佳状态,提高产品质量和工作效率。

③ 家用电器。家电产品的一个重要发展趋势是不断提高其智能化程度。目前,各种家用电器(例如空调、电饭煲、电冰箱、洗衣机、彩电、微波炉、音响视频器材、电子称量设备等)普遍采用单片机作为其控制核心。

④ 网络和通信。单片机普遍具备通信接口,可方便地与计算机进行数据通信。计算机网络终端设备、银行终端及计算机外设(如硬盘驱动器、打印机、绘图仪、复印机、传真机等)中都使用了单片机。而且,现在通信设备也基本上实现了单片机控制,在电话机、调制解调器、程控交换技术,以及路由器、交换机、列车无线通信、集群移动通信等各种通信设备中,单片机都得到了广泛的应用。

⑤ 医用设备。单片机在医用设备中的用途也相当广泛,例如各种分析仪、监护仪、医用呼吸机、超声诊断设备及病床呼叫系统等都用到了单片机。

⑥ 汽车电子设备。单片机在汽车电子设备中的应用非常广泛,例如单片机在汽车中的发动机智能电子控制器、GPS 导航系统、汽车制动系统以及 ABS 防抱死系统等中的应用。

⑦ 武器装备。单片机也深入到了现代化的武器装备中,例如军舰、坦克、导弹、航天飞机导航系统等。

### 1.3 数制及数制间的转换

数制也称进位计数制,是利用符号来计数的科学方法。

计算机中各类信息均以二进制形式进行存储和运算。由于二进制中只含有 0 和 1 两个数码,若以 1 代表高电平,0 代表低电平,在计算机中可利用二值电路来进行计数、比较及运算,实现起来极容易且简便可靠,因此所有计算机都是采用二进制数来进行运算的。但是使用二进制编写程序很繁琐而且所编程序的可读性也差,为此人们在编程时常用到十六进制和八进制。然而,人们在日常生活中习惯采用十进制计数。因此,对于用户输入的十进制数,计算机必须先将其转换成二进制数然后进行识别和处理,处理的结果还常需要还原成十进制的形式输出。

任何一种数制都包含两个基本因素:基数和位权。





### (1) 基数 $R$ (Radix)

所谓基数，就是在某一种进制中可能用到的数码的个数。以十进制为例，它包含  $0, 1, \dots, 9$  共 10 个数码，因此十进制的基数  $R=10$ 。

### (2) 位权 $W$ (Weight)

任一进制数中，某一位的数值等于该位的数码值乘以该位的位权。位权表示为基数  $R$  的某次幂，是一个与该位数码值无关的固定常数，它由该位在这个数中的位置决定，即  $W=R^i$ ，其中  $i$  为位编号。

设有一  $R$  进制数，含有  $m$  位整数、 $n$  位小数，则该数中从左到右各位的位权分别为  $R^{m-1}, R^{m-2}, \dots, R^2, R^1, R^0, R^{-1}, R^{-2}, \dots, R^{-n}$ 。

## 1.3.1 常用进位计数制

### (1) 十进制 $D$ (Decimal)

十进制的基数  $R=10$ ，有两层含义：第一，十进制包含  $0, 1, 2, \dots, 9$  共 10 个数码；第二，十进制的进位规则是“逢十进一”和“借一当十”。十进制的位权  $W=10^i$ ， $i$  为位编号。任意一个含有  $m$  位整数、 $n$  位小数的十进制数  $N$  可以表示为：

$$(N)_D = D_{m-1} \times 10^{m-1} + D_{m-2} \times 10^{m-2} + \dots + D_1 \times 10^1 + D_0 \times 10^0 + D_{-1} \times 10^{-1} + D_{-2} \times 10^{-2} + \dots + D_{-n} \times 10^{-n}$$

例如： $368.295 = 3 \times 10^2 + 6 \times 10^1 + 8 \times 10^0 + 2 \times 10^{-1} + 9 \times 10^{-2} + 5 \times 10^{-3}$ 。

### (2) 二进制 $B$ (Binary)

二进制的基数  $R=2$ ，即：二进制包含  $0, 1$  共两个数码；二进制的进位规则是“逢二进一”和“借一当二”。二进制的位权  $W=2^i$ ， $i$  为位编号。任意一个含有  $m$  位整数、 $n$  位小数的二进制数  $N$  可以表示为：

$$(N)_B = D_{m-1} \times 2^{m-1} + D_{m-2} \times 2^{m-2} + \dots + D_1 \times 2^1 + D_0 \times 2^0 + D_{-1} \times 2^{-1} + D_{-2} \times 2^{-2} + \dots + D_{-n} \times 2^{-n}$$

例如： $(10110.011)_B = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$ 。

### (3) 八进制 $Q$ (Octal)

八进制的基数为 8，使用的数码有 8 个： $0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ 。进位规则是“逢八进一”和“借一当八”。其位权  $W=8^i$ ， $i$  为位编号。任意一个  $m$  位整数、 $n$  位小数的八进制数  $N$ ：

$$(N)_Q = D_{m-1} \times 8^{m-1} + D_{m-2} \times 8^{m-2} + \dots + D_1 \times 8^1 + D_0 \times 8^0 + D_{-1} \times 8^{-1} + D_{-2} \times 8^{-2} + \dots + D_{-n} \times 8^{-n}$$

例如： $(7062.15)_Q = 7 \times 8^3 + 6 \times 8^1 + 2 \times 8^0 + 1 \times 8^{-1} + 5 \times 8^{-2}$ 。

### (4) 十六进制 $H$ (Hexadecimal)

十六进制的基数  $R=16$ ，使用的数码为： $1, 2, \dots, 8, 9, A, B, C, D, E, F$  共 16 个。进位规则是“逢十六进一”和“借一当十六”。十六制的位权  $W=16^i$ ， $i$  为位编号。任意一个含有  $m$  位整数、 $n$  位小数的十六进制数  $N$  可以表示为：

$$(N)_H = D_{m-1} \times 16^{m-1} + D_{m-2} \times 16^{m-2} + \dots + D_1 \times 16^1 + D_0 \times 16^0 + D_{-1} \times 16^{-1} + \dots +$$