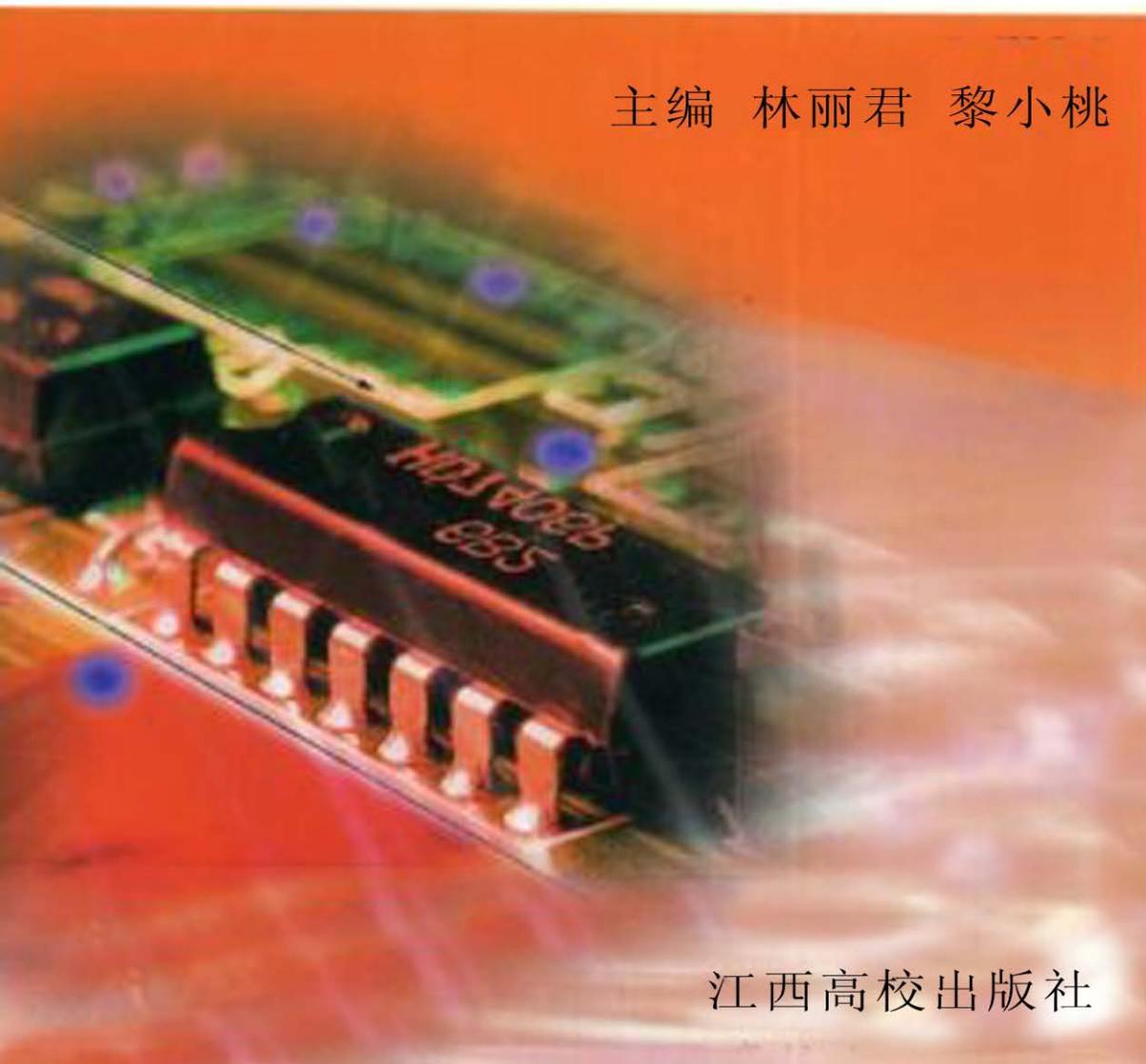


单片机 原理及其应用

主编 林丽君 黎小桃



江西高校出版社

单片机原理及其应用

主 编 林丽君 黎小桃
副主编 熊 科 陈晓龙

江西高校出版社

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理及其应用/林丽君,黎小桃主编. —南昌:
江西高校出版社, 2008.1(2010.1 修订)

ISBN 978 - 7 - 81132 - 238 - 5

I. 单... II. ①林... ②黎... III. 单片微型计算机 - 高等学校: 技术学校 - 教材 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008) 第 012089 号

出版发行	江西高校出版社
社 址	江西省南昌市洪都北大道 96 号
邮政编码	330046
电 话	(0791) 8529392,8504319
网 址	www.juacp.com
印 刷	南昌市光华印刷有限责任公司
照 排	江西太元科技有限公司照排部
经 销	各地新华书店
开 本	787mm × 1092mm 1/16
印 张	13.875
字 数	337 千字
版 次	2010 年 2 月第 1 版第 2 次印刷
印 数	3001 ~ 6000 册
书 号	ISBN 978 - 7 - 81132 - 238 - 5
定 价	22.00 元

版权所有 侵权必究

前 言

“单片机”这一术语在初期出现时,是相对于早期流行的“单板机”而提出的,强调了各部件集成一片的这一特性。随着单片机技术的不断发展,单片机在微机控制领域中占据了不可替代的重要地位。尤其是美国 Intel 公司生产的 MCS - 51 系列单片机,因其具有集成度高、功能齐全、性价比高、体积小、使用方便等优点,在全球范围内工业控制、家用电器、智能仪器仪表、军事科技等领域,得到了广泛的应用和普及。

编者从高等职业技术教育的实际出发,根据高等职业教育的培养目标和本课程的教学大纲确定本书编写的指导思想和教学特色,以理论够用、应用为重为原则,结合编者多年的教学经验和实践编写而成。能让学生从应用的角度出发,在理论与实践的基础上充分了解单片机的工作过程,熟悉单片机系统的整体概念,掌握单片机的接口技术,培养单片机应用系统的设计与开发技能。

本书的教学时数为 60 ~ 90 学时,使用时可根据具体专业及各种情况增删有关内容。可作为普通高职高专机电一体化、电子技术应用、电气自动化、通信技术、智能控制技术等专业学生的教材,同时也可供自学和从事单片机工作的技术人员参考。

本书由林丽君、黎小桃任主编,熊科、陈晓龙任副主编。参加编写的教师有:江西工业工程职业技术学院林丽君、肖军,江西应用职业技术学院黎小桃,江西工贸职业技术学院熊科,江西旅游商贸职业技术学院陈晓龙、冷斌,江西机电职业技术学院魏洪昌,江西工业工程职业技术学院王超。全书由林丽君组织编写、定稿。

本书在编写的过程中,得到了江西工业工程职业技术学院电子工程系的大力支持,在此表示衷心的感谢! 由于编者的水平有限,书中难免有缺点和不当之处,恳请专家、同仁及广大读者批评指正。

编 者

2010 年 1 月

目 录

第1章 单片机基本知识

1.1 单片机的概述

1.1.1 计算机的简介

1.1.2 单片机的概念

1.1.3 通用单片机和专用单片机

1.1.4 单片机的分类

1.2 单片机的发展及应用

1.2.1 发展概述

1.2.2 发展趋势

1.2.3 单片机的应用

1.3 典型单片机介绍

1.3.1 Intel 单片机

1.3.2 Motorola 单片机

1.3.3 Microchip 单片机

1.3.4 其他单片机

1.4 单片机的数制与编码

1.4.1 数制

1.4.2 数制的转换

1.4.3 编码

小结

习题

第2章 MCS-51 单片机的硬件系统

2.1 结构及引脚功能

2.1.1 内部结构

2.1.2 信号引脚及功能

2.2 存储器

2.2.1 MCS-51 存储器的特点

2.2.2 程序存储器

2.2.3 数据存储器

2.3 输入/输出(I/O)口

2.3.1 P0 口

2.3.2 P1 口

2.3.3 P2 口

2.3.4 P3 口

- 2.4 时钟电路与时序
 - 2.4.1 时钟电路
 - 2.4.2 CPU 时序
 - 2.4.3 典型指令时序
- 2.5 单片机工作方式
 - 2.5.1 复位方式和复位电路
 - 2.5.2 程序执行方式
 - 2.5.3 掉电保护方式
 - 2.5.4 80C51 的低功耗方式
- 2.6 单片机的应用系统和开发系统
 - 2.6.1 最小应用系统
 - 2.6.2 单片机开发系统
 - 2.6.3 单片机的开发过程
- 2.7 实验(开发仪的使用)
- 小结
- 习题

第3章 MCS-51 单片机指令系统

- 3.1 指令系统概述
 - 3.1.1 指令的基本概念
 - 3.1.2 指令和指令助记符
 - 3.1.3 指令的字节数和指令周期
- 3.2 寻址方式
 - 3.2.1 寻址方式中常用符号注释
 - 3.2.2 寻址方式
- 3.3 数据传送类指令
 - 3.3.1 内部 RAM 数据传送指令
 - 3.3.2 外部 RAM 数据传送指令
 - 3.3.3 ROM 数据传输指令(查表指令)
 - 3.3.4 数据交换指令
 - 3.3.5 栈操作指令
- 3.4 算术运算指令
 - 3.4.1 加法指令
 - 3.4.2 十进制调整指令
 - 3.4.3 减法指令
 - 3.4.4 乘法和除法指令
- 3.5 逻辑运算及移位指令
 - 3.5.1 清零指令 CLR
 - 3.5.2 取反指令 CPL
 - 3.5.3 移位指令

- 3.5.4 逻辑与指令
- 3.5.5 逻辑或指令
- 3.5.6 逻辑异或指令
- 3.6 控制转移指令
 - 3.6.1 无条件控制转移指令
 - 3.6.2 有条件控制转移指令
 - 3.6.3 调用指令
- 3.7 位操作指令
 - 3.7.1 位数据传送指令
 - 3.7.2 位置位与清零指令
 - 3.7.3 位逻辑运算指令
 - 3.7.4 位条件转移指令
 - 3.7.5 判位变量转移
- 3.8 指令系统实验
 - 3.8.1 寻址方式及数据传送实验
 - 3.8.2 数据运算操作实验
 - 3.8.3 控制转移和子程序调用实验
- 小结
- 习题
- 第4章 MCS-51 单片机程序设计**
 - 4.1 汇编语言程序设计基础
 - 4.1.1 汇编语言与机器语言
 - 4.1.2 汇编语言源程序的汇编
 - 4.1.3 伪指令
 - 4.1.4 汇编语言程序设计的步骤及方法
 - 4.2 单片机程序的基本结构
 - 4.2.1 顺序结构程序
 - 4.2.2 分支结构程序
 - 4.2.3 循环结构程序
 - 4.2.4 子程序
 - 4.3 单片机程序设计应用举例
 - 4.3.1 算术运算程序
 - 4.3.2 数制转换程序
 - 4.3.3 延时程序
 - 4.3.4 查表程序
 - 4.3.5 数据极值查找程序
 - 4.3.6 数据排序程序
 - 4.4 程序设计实验
 - 4.4.1 循环程序

4.4.2 脉冲计数程序

4.4.3 流水灯控制程序或工业顺序控制程序

小结

习题

第5章 MCS-51 单片机片内资源

5.1 中断系统

5.1.1 单片机中断系统及管理

5.1.2 单片机响应中断的条件及响应过程

5.1.3 中断系统应用举例

5.2 定时器/计数器

5.2.1 结构及工作原理

5.2.2 控制寄存器

5.2.3 工作方式

5.2.4 综合应用举例

5.3 串行接口

5.3.1 串行通信概念

5.3.2 串行口及控制寄存器

5.3.3 串行通信工作方式

5.3.4 波特率的设计

5.3.5 多机通信

5.3.6 应用举例

5.4 片内资源实验

5.4.1 中断实验

5.4.2 定时器/计数器实验

5.4.3 串行通信实验

小结

习题

第6章 MCS-51 单片机存储器扩展

6.1 系统扩展及结构

6.1.1 系统总线

6.1.2 存储器扩展与编址

6.2 程序存储器扩展

6.2.1 只读存储器概述

6.2.2 程序存储器扩展举例

6.3 数据存储器扩展

6.3.1 随机存储器概述

6.3.2 数据存储器扩展举例

6.4 系统扩展实验

6.4.1 串行 EEPROM 实验

小结

习题

第7章 MCS-51 单片机接口技术

7.1 单片机 I/O 口扩展

7.1.1 I/O 口扩展概述

7.1.2 简单 I/O 口扩展

7.2 8255A 可编程通用并行 I/O 扩展接口

7.2.1 内部结构

7.2.2 工作方式和控制字

7.2.3 单片机与 8255A 接口

7.2.4 初始化编程举例

7.3 8155 可编程并行 I/O 扩展接口

7.3.1 内部结构

7.3.2 工作方式和命令/状态寄存器

7.3.3 定时器/计数器

7.3.4 单片机与 8155 接口

7.3.5 初始化编程举例

7.4 键盘接口技术

7.4.1 独立式键盘及接口

7.4.2 矩阵式键盘及接口

7.4.3 键盘的工作方式

7.5 显示器接口技术

7.5.1 LED 数码显示器结构和工作原理

7.5.2 静态 LED 显示器接口

7.5.3 动态 LED 显示器接口

7.5.4 8279 可编程键盘/显示器接口

7.6 A/D 接口技术

7.6.1 A/D 转换原理

7.6.2 ADC0809 简介

7.6.3 单片机与 ADC0809 接口

7.7 D/A 接口技术

7.7.1 D/A 转换原理

7.7.2 DAC0832 简介

7.7.3 单片机与 DAC0832 接口

7.8 接口技术实验

7.8.1 I/O 口扩展实验

7.8.2 A/D 接口实验

小结

习题

第8章 MCS-51 单片机应用系统

8.1 应用系统设计的研制方法

8.1.1 总体设计

8.1.2 硬件设计

8.1.3 软件设计

8.1.4 系统仿真调试

8.2 开发系统及开发工具

8.2.1 开发系统

8.2.2 开发工具

8.3 应用系统实例

8.3.1 十字路口交通灯控制

8.3.2 步进电机控制

8.3.3 音乐演奏播放器

8.3.4 电脑时钟控制系统

小结

习题

附录 A MCS-51 单片机指令速查表

附录 B ASCII 码字符表

第 1 章 单片机基本知识

1.1 单片机的概述

1.1.1 计算机的简介

人们通常所说的计算机都是指微型计算机(Microcomputer), 简称微机, 它具有快速、精确、程序控制等特点。个人计算机简称 PC(Personal Computer) 机, 是微型计算机中应用最为广泛的一种。

微型计算机系统由硬件系统和软件系统组成。微机系统组成示意图如图 1.1 所示。

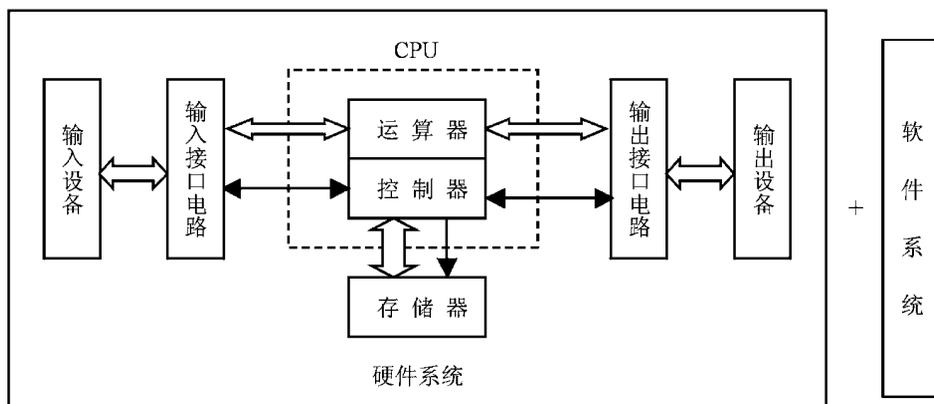


图 1.1 微型计算机系统组成示意图

硬件系统是指构成微机系统的实体和装置, 通常由运算器、控制器、存储器、输入接口电路和输入设备、输出接口电路和输出设备等组成。其中, 运算器和控制器一般做在一个集成芯片上, 统称中央处理单元(Central Processing Unit), 简称 CPU, 是微机的核心部件。CPU 配上存放程序和数据的存储器、输入/输出(Input/Output, 简称 I/O) 接口电路以及外部设备即构成微机的硬件系统。

软件系统是微机系统所使用的各种程序的总称。人们通过它对整机进行控制并与微机系统进行信息交换, 使微机按照人的意图完成预定的任务。

1.1.2 单片机的概念

单片微型计算机(Single Chip Microcomputer) 简称单片机, 是指集成在一块芯片上的计算机, 也就是把组成微型计算机的各种功能部件, 包括 CPU、随机存取存储器 RAM(Random

Access Memory)、只读存储器 ROM(Read - only Memory)、基本输入/输出接口电路、定时器/计数器等部件都制作在一块集成芯片上,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 1.2 所示。

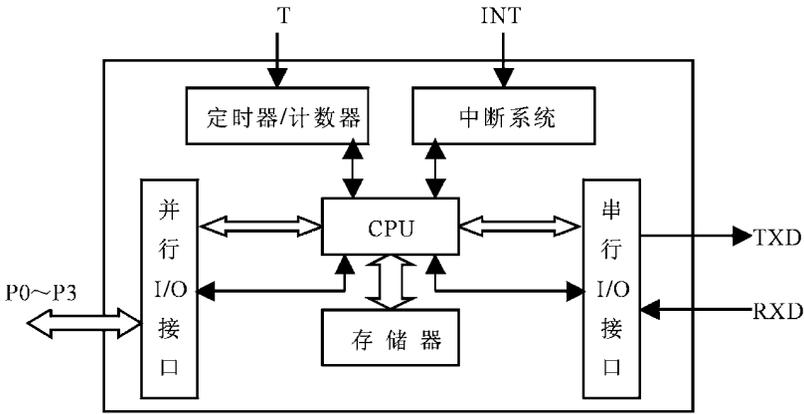


图 1.2 单片机内部结构示意图

单片机实质上是一个芯片。在实际应用中,通常很少将单片机直接和被控对象进行电气连接,必须外加各种扩展接口电路、外部设备、被控对象等硬件和软件,才能构成一个单片机应用系统。

1.1.3 通用单片机和专用单片机

单片机分为通用型单片机和专用型单片机两大类。通常所说的单片机即指通用型单片机。

通用型单片机是把可开发资源全部提供给应用者的微型控制器,它是一种基本芯片,内部资源比较丰富,性能全面,而且适用性强,能满足多种应用要求。用户可根据需要设计各种不同的应用控制系统。即通用型单片机有一个再设计过程,通过用户的进一步设计,才能构成一个以单片机为核心再配以其他外围电路的应用系统。

专用型单片机则是为过程控制、参数监测、信号处理等方面的特殊需要而专门设计的单片机,是针对某种特定产品的,例如电能表和 IC 卡读写器上的单片机等,这种应用的最大特点是针对性强且数量极大,为此厂家常与芯片制造商合作,设计和生产专用的单片机芯片。

1.1.4 单片机的分类

从单片机的指令结构可做以下分类:

一类是 CISC 单片机,包括 Intel 的 8051 系列、Motorla 的 MC68HCXX 系列、ATMEL 的 AT89 系列、台湾的 Winbond(华邦) W78 系列、Philips 的 80C51 系列等。

另一类是 RISC 单片机,包括 Microchip 公司的 PIC 系列、TI 的 MSP430 系列、Zilog 的 Z86 系列、ATMEL 的 AVR 系列、台湾义隆的 EM78 系列等。

1.2 单片机的发展及应用

1.2.1 发展概述

单片机作为微型计算机的一个分支,它的发展十分迅速,可以分为以下三个阶段。

1. 单芯片微机形成阶段(1974—1978)

以 Intel 公司 1976 年推出的 MCS-48 系列单片机为代表,其特点是总线宽度为 8 位,无串行 I/O 接口,片内 ROM(2kB)和 RAM(128B)容量较小,寻址范围不大于 4kB,定时/计数器为 8 位,指令功能和中断功能都较简单,广泛应用于微机键盘中。

2. 性能完善提高阶段(1978—1982)

以 Intel 公司 1980 年推出的 MCS-51 系列单片机为代表。虽然其总线宽度仍为 8 位,但增加了串行 I/O 口,其片内 ROM(8kB)和 RAM(256B)容量增大,寻址空间可达 64kB,具有多个 16 位定时/计数器,指令功能及中断处理功能有所增强,增加了位处理功能,更适合用做逻辑控制。由于该系列单片机功能比较完善,结构简单,性价比高,因此得到了广泛的应用。

3. 微控制器化阶段(1982 至今)

以 Intel 公司 1983 年推出的 MCS-96 系列为代表,除采用 16 位总线外,还增加了多路 A/D 转换、PWM 脉宽调制输出、监视定时器 WDT(WATCH DOG TIMER)、高速 I/O 等功能,各项性能指标均有较大地提高,在高档智能化仪表、彩色复印机、录像机等领域得到了较好的应用。

此阶段的主要特点是:片内面向测控系统外围电路增强,使单片机可以方便灵活地用于复杂的自动测控系统及设备。

1.2.2 发展趋势

自 1990 年以来,单片机被广泛应用于各个领域。目前,单片机一方面朝着高性能、网络化、在线编程的通用型方向发展,另一方面朝着针对性强、简单易用、价格低廉的专用型方向发展。可以预见,随着新的单片机品种的不断出现,其应用范围将更加广泛。

1.2.3 单片机的应用

单片机的应用,主要是基于它的控制功能。由于单片机具有体积小、重量轻、耗电省、可靠性高、价格低等特点,近年来在各种领域都获得了极为广泛的应用,归纳起来可分为以下几个方面。

1. 单片机应用于智能仪器仪表领域

单片机用于各种仪器仪表,提高了仪器仪表的使用功能和精度,使仪器仪表智能化,同时还简化了仪器仪表的硬件结构,稳定性提高。如智能化电能表、智能化示波器、智能传感器等。

2. 单片机应用于工业控制领域

单片机在工业过程监测、过程控制、逻辑顺序控制、机电一体化等方面都有着广阔的应用。

武之地,如机床控制、窑炉温度控制、液位控制、机器人等。

3. 单片机应用于汽车电子及航空、航天领域

由单片机构成集中显示系统、动力监控系统、自动驾驶系统及运行监视器(黑匣子)等。

4. 单片机应用于办公自动化领域

在许多办公自动化产品中都使用了单片机,如复印机、传真机、考勤机、电话机以及微型计算机的键盘、硬盘驱动器、打印机等。

5. 单片机应用于商业营销领域

在商业营销领域广泛使用的电子秤、收款机、条形码阅读器、仓库安全监测系统、保安报警系统、空调系统等都有单片机的用武之地。

6. 单片机应用于通信设备

计算机技术和通信技术相结合的产物——计算机通信网,不仅成为现代化通信的重要手段,且其本身也表明了现代通信与计算机技术密不可分的关系,如程控交换机。

7. 单片机应用于家用电器领域

目前,像空调、洗衣机、电冰箱、微波炉、电视机、录像机、VCD、音响等家用电器已经普遍采用单片机控制取代了传统的控制电路,使其应用更简洁、方便,产品更能满足用户的高层次需求。

1.3 典型单片机介绍

1.3.1 Intel 单片机

Intel 公司的 MCS-51 系列单片机,是性能优越、历史长久、受到广大用户青睐、占据市场份额很大的单片机。表 1.1 列出了 Intel 公司 MCS-51 系列主要产品的功能特性。

表 1.1 Intel 公司 MCS-51 系列单片机特性

型 号			存 储 器		定 时 / 计 数 器	串 行 口	外 部 中 断 源	I / O 线	主要特殊功能
无 ROM	ROM	EPROM	ROM/kB	RAM/B					
8031AH	8051AH	8751AH	4	128	2	UART	5	32	HMOS 工艺
	8051BH	8751BH	4	128	2	UART	5	32	HMOS 二级 ROM 保密位
8032AH	8052AH	8752BH	8	256	3	UART	6	32	HMOSBH 为二级 ROM 保密位
80C31	80C51BH	87C51	4	128	2	UART	5	32	CHMOS
81C51FA	81C51FA	87C51FA	8	256	3	UART	6	32	有可编程计算器阵列(PCA)
	81C51FB	87C51FB	16	256	3	UART	6	32	有可编程计算器阵列(PCA)
	81C51FC	87C51FC	32	256	3	UART	6	32	有可编程计算器阵列(PCA)
83C32	80C52		8	256	3	UART	6	32	
		87C54	16	256	3	UART	6	32	
		87C58	32	256	3	UART	6	32	
			32			UART	6	32	4kB FLASH, 28KROM
		88F51FC	FLASH	256	3	UART	6	32	8* 8 位 A/D 2PCA 监视定时器
80C51GB	83C51GB	87C51GB	8	256	3	UART	6	48	

早期产品: 8051(掩膜 ROM)、8751(EPROM)、8031(NO ROM)

中高档产品: 8052、8752、8032

低功耗产品: 80C51、87C51、80C31

1.3.2 Motorola 单片机

Motorola 公司的 8 位单片机有 68HC05 系列、68HC08 系列和 68HC11 系列。它采用内部锁相环技术, 在外部时钟频率较低时也能产生较高的内部总线速度, 从而保证了速度又降低了噪声, 可靠性高, 特别适合工控领域的应用。

1.3.3 Microchip 单片机

美国 Microchip 公司推出的 PIC 系列 RISC 结构单片机是影响比较大的非 80C51 结构的产品。它是世界上最常见的 8 位微控制器(MCU), 它们有 OTP(一次性编程)、EEPROM(电可擦除 EPROM)、Flash 存储器及掩膜 ROM 等四种不同的程序存储器类型。根据产品的性能, PIC 单片机划分为基本级、中级、高级三个层次, 共百余个产品, 具有高性能 RISC 结构 CPU、CMOS 工艺特性。

1.3.4 其他单片机

1. AT89 系列单片机

AT89 系列单片机是美国 ATMEL 公司的 8 位 Flash 单片机产品。它以 MCS-51 为内核, 与 MCS-51 系列的软硬件兼容。

该系列中有 20 引脚封装的产品, 体积减小, 应用灵活; 时钟频率提高, 运算速度加快。在片内含有 Flash 存储器, Flash 存储器是一种可以电擦除和电写入的闪速存储器(简记为 FPEROM), 使开发调试更为方便。表 1.2 为 AT89 系列单片机常用产品特性一览表。

表 1.2 AT89 系列单片机常用产品特性一览表

型号	片内存储器		I/O 口线	定时/计数器	模拟比较器	中断源	串行口
	程序存储器	数据存储器					
89C1051	1kB FPEROM	64B	15	1 个 16 位	1 个	3 个	无
89C2051	2kB FPEROM	128B	15	2 个 16 位	1 个	5 个 2 级	UART
89C51	4kB FPEROM	128B	32	2 个 16 位	无	5 个 2 级	UART
89C52	8kB FPEROM	256B	32	3 个 16 位	无	6 个 2 级	UART

2. MSP430 系列单片机

TI 公司的 MCU 产品——MSP430 Flash 系列 16 位单片机有业界最佳“绿色微控制器”的称号, 消耗功能极低。低电压工作, 特别适合电池供电产品的应用。产品系列功能齐全, 性价比高, 支持开发系统也较好。

3. 其他 MCS-51 系列兼容单片机

为了进一步增强 MCS-51 系列单片机的功能, 一些单片机生产厂商还对 MCS-51 系列单片机的硬件进行了扩充。如 Philips 的 8XC552 系列, 在 80C51 的基础上增加了一个 16 位的定时/计数器, 增加了一个 8 位输入的 10 位 A/D 转换器, 并配有串行总线接口, 80C51XA 使单片机位数增至 16 位; Intel 公司的 80C51GA/GB 也增加了 A/D 转换功能。

1.4 单片机的数制与编码

在计算机中,任何命令和信息都是以二进制数据的形式存储的。计算机所执行的全部操作都归结为对数据的处理和加工,为了便于理解单片机系统的基本工作原理,掌握数字、字母等字符在单片机系统中的表示方法及处理过程,我们有必要对有关数制和编码等方面的基础知识进行简单回顾。

1.4.1 数制

数制就是计数的方式。人们使用最多的是进位计数制,数的符号在不同的位置上所代表的值不同。

1. 十进制

十进制是人们日常生活中最熟悉和习惯使用的进位计数制。在十进制中,用0,1,2,……9这十个数字符号数码来描述。计数规则是逢十进一。一般可以将任意一个十进制数N(正数)表示为:

$$\begin{aligned} N_{10} &= K_n \times 10^n + K_{n-1} \times 10^{n-1} + \cdots + K_1 \times 10^1 + K_0 \times 10^0 + K_{-1} \times 10^{-1} + \cdots \\ &\quad + K_{-m} \times 10^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^n K_i \times 10^i \end{aligned}$$

其中, K_i 是0~9十个数码中的任意一个, m 、 n 为正整数,10为计数制的基数, 10^i 为该位的权。所谓基数,就是该进位制中用到的数码个数。为区别其他进位制数,十进制数的后缀用D标记(常省略)。

$$\text{例: } 123.45\text{D} = 1 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 4 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}$$

2. 二进制

二进制只有两个数码0和1,计数规则是逢二进一,基数是2。任意一个二进制数按权展开为:

$$\begin{aligned} N_2 &= K_n \times 2^n + K_{n-1} \times 2^{n-1} + \cdots + K_1 \times 2^1 + K_0 \times 2^0 + K_{-1} \times 2^{-1} + \cdots + K_{-m} \times 2^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^n K_i \times 2^i \end{aligned}$$

其中, K_i 只能取0或1; m 、 n 为正整数。为区别其他进位制数,二进制数的后缀用B标记。

$$\text{例: } 1010.1\text{B} = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} = 10.5$$

3. 八进制

在八进制中,数码共8个,即0~7,逢八进一,基数为8。任意一个八进制数按权展开为:

$$N_8 = \sum_{i=-m}^n K_i \times 8^i$$

其中, K_i 只能取0~7; m 、 n 为正整数。为区别其他进位制数,八进制数的后缀用Q标记。

$$\text{例: } 3215\text{Q} = 3 \times 8^3 + 2 \times 8^2 + 1 \times 8^1 + 5 \times 8^0 = 1677$$

4. 十六进制

在十六进制中,数码共16个,即0~9、A~F(表示十进制数10、11、12、13、14、15),逢十六进一,基数为16。任意一个十六进制数按权展开为:

$$N_{16} = \sum_{i=-m}^n K_i \times 16^i$$

其中, K_i 只能取0~F; m 、 n 为正整数。为区别其他进位制数,十六进制数用后缀H。

例: $8A71.4BC9H = 8 \times 16^3 + 10 \times 16^2 + 7 \times 16^1 + 1 \times 16^0 + 4 \times 16^{-1} + 11 \times 16^{-2} + 12 \times 16^{-3} + 9 \times 16^{-4} = 35441.296$

1.4.2 数制的转换

1. 十进制数转换为二进制数

(1) 十进制整数转换为二进制整数

要把十进制整数转换为二进制整数,可以采用“除2取余法”。将十进制整数除以2,得到一个商和一个余数。再将商除以2,又得到新的商与余数,如此继续下去,直到商等于零为止。将各次所得的余数按逆序排列(最后一个余数为最高位),就可得到相应的二进制整数。

以十进制数35为例,除2取余法如下:

商	余数	低位
35/2=17	1	↑ 高位
17/2=8	1	
8/2=4	0	
4/2=2	0	
2/2=1	0	
1/2=0	1	

转换得到的二进制数为100011。

(2) 十进制小数转换为二进制小数

要把十进制小数转换为二进制小数,则可采用“乘2取整法”。用2乘十进制小数,然后去掉乘积中的整数部分,再用2乘剩下的小数部分,如此继续下去,直到小数部分等于0或满足所要求的精度为止,以首次乘2所得乘积整数部分作为小数最高位,把各次乘2所得整数部分按正序排列,就可得到相应的二进制小数。以十进制小数0.625为例,乘2取整法如下:

0.625 × 2 = 1.25	取整数 1
0.25 × 2 = 0.5	取整数 0
0.5 × 2 = 1	取整数 1

此时小数部分已为0,所以转换的二进制小数等于0.101。

值得指出的是,并非所有十进制小数都能用精确的二进制数表示。若将0.1326转换为二进制小数时,读者会发现整个“乘2取整”的过程无限制地进行下去,即乘积的小数部分总不为0,此时应根据机器的精度,取一定的位数作为近似值。

2. 二进制数与十六进制数的相互转换