

第二版

前

言

本书是2012年出版的《单片机原理及应用》教材的修订版。在听取读者建议和教学实践过程中总结经验的基础上进行改版,主要体现在以下几个方面。

(1)“单片机原理及应用”课程以应用单片机为主,将C51语言定位为单片机教材的基本语言,解决了学习汇编语言指令后仍然难以尽快入门与开展工程应用的问题。因此删减并重新编排了原书第3、4章(单片机的指令系统及汇编语言的设计)的内容,免去了指令和单片机存储空间的学习,降低了学习51单片机的难度,能够提高学生学习的积极性。原教材第5章中断和定时/计数器分开两章进行编写,增加应用实例,加强片上资源的学习应用。在教材的第2章增加了单片机开发系统的软硬件基础,并提前用一个实例演示,目的是希望读者提前熟悉单片机开发平台,尽快进入学习单片机技术开发的角色。

(2)教学方法与教学设计的变化。传统的《单片机原理及应用》教学方法一般是多媒体讲授理论知识,实验课上再安排实验。该方法使得“教”与“做”分离,其实就是“教”与“学”的分离,不是以学为本的教学方法。改版后,本教材采用以演示和实验为主,每一章都新增了实际案例,包括Keil C51工程源码和Proteus仿真原理图。较好的将这些内容引入教材并与相关章节的知识有机融合,使得单片机教材难教、难学的问题得到有效改善。通过大量的仿真实例的调试和运行,不仅可以加深对抽象概念的理解,也可以使枯燥的编程学习变得更生动有趣。

(3)教材中每章的实例电路图都采用Proteus仿真软件绘制,确保清晰规范,所有实例工程都通过了Keil C51编译调试,保证仿真程序可靠正确运行。同时每个实例都配有二维码,读者随时随地可以通过扫描二维码进行学习。

(4)注意培养自学能力。单片机技术是一门迅速发展的学科,新技术不断出现,必须靠自己继续不断地学习,才能将最新成果运用到工作中去。因此,本教材内容重新进行了编排,每章均有例题详解,加强了习题与教材的呼应。每一章都新增了大量的选择题和思考问答题,提供习题的标准答案和参考提示答案,有意识地培养通过自学获取新知识的能力。

本着“扎实的基础、开放的思想、实战的能力”的思想,本书力求在内容取舍、顺序编排、实例组织和教学方法上有所改进,使读者能够快速理解单片机内部各功能模块的应用特点,掌握控制电路设计和程序开发的基本工具和方法。树立从系统功能需求出发,来构思系统硬件和软件的构成,综合硬件与软件各自优势,对系统各部分构成进行选择,再到实现的产品整体设计思想,进而提高综合运用计算机软硬件知识解决实际问题的能力。

本书从应用角度出发,以C51语言编程为主,强调应用实例,让读者以C51实现单片机



系统编程。所采用的实例既兼顾讲课需要,又可以扩展为实际工程应用。同时书中提供了完整的开发实例,并讲解了开发的基本步骤和开发工具,方便读者通过实际应用掌握单片机应用系统的开发。

本书基于 MCS-51 这一经典单片机,系统介绍单片机的工作原理和应用技术。全书共 10 章,主要包括单片机基础知识概述、单片机应用系统的开发、MCS-51 单片机的硬件结构和原理、单片机的汇编语言与程序设计、单片机的 C51 语言、单片机的中断系统、单片机的定时/计数器、单片机的串行通信技术、单片机系统的扩展、单片机系统综合应用等内容。每一章都有小结和习题,第 10 章提供了两个综合应用的设计实例,可作为相关专业学生进行毕业设计和工程技术人员的参考资料。教材还提供了本课程的相关延伸阅读材料,有兴趣的读者可以通过扫描二维码下载学习。

本书既可以作为高等工科院校自动化、电气工程及其自动化、计算机应用、电子信息工程以及机电类专业教学用书,也可供有关院校师生和有关从事单片机应用与产品开发等工作的工程技术人员参考。读者阅读此书,需要一些电子技术和 C 语言基础。

此次修订工作由熊才高(湖北商贸学院)主持完成。第 1、3、5 章由熊才高编写;第 4、9 章由覃事刚(湖南电气职业技术学院)、王立新(黑龙江科技大学)编写;第 2、6 章由覃事刚、黄英(武汉华夏理工学院)编写;第 7 章由张鹤(武昌首义学院)编写;第 8、10 章由黄英、何军虎(湖北商贸学院)编写。金巧、王振宇负责了全书的仿真实例的设计与调试,金巧、节晓玥参与了部分实例的仿真调试、习题答案整理等工作。全书由熊才高负责整理和统稿。

本书在编写过程中参考了相关企业的产品资料和同行作者的有关文献,在此对书中所引用的参考文献、引用的相关教材与资料的作者、译者一并表示衷心的感谢!本书修订过程中又一次得到了华中科技大学出版社的大力支持和帮助,特别是袁冲编辑,对本书的修订做了大量细致的工作,在此谨致以诚挚的谢意。

由于编者的水平有限,加之单片机及其应用技术也在不断发展,书中难免存在不完善及欠妥之处,漏误在所难免,恳请同行及广大读者批评指正。

编者

2021 年 4 月

第 1 章 单片机基础知识概述	(1)
1.1 电子计算机概述	(1)
1.2 单片机的发展过程及发展趋势	(4)
1.3 常用数制、编码和计算机中数的表示	(9)
本章小结	(16)
思考与练习题 1	(17)
第 2 章 单片机应用系统的开发	(19)
2.1 单片机应用系统开发过程	(19)
2.2 Keil μ Vision 集成开发环境简介	(21)
2.3 Proteus 单片机仿真软件简介	(32)
本章小结	(43)
思考与练习题 2	(43)
第 3 章 MCS-51 单片机的硬件结构和原理	(45)
3.1 80C51 单片机芯片的基本结构	(45)
3.2 80C51 单片机的引脚功能	(46)
3.3 80C51 单片机的内部组成和内部结构	(48)
3.4 80C51 单片机的并行口结构与操作	(58)
3.5 80C51 单片机的时序与低功耗工作方式	(68)
3.6 80C51 单片机的最小系统	(72)
本章小结	(73)
思考与练习题 3	(73)
第 4 章 单片机的汇编语言与程序设计	(76)
4.1 单片机汇编语言概述	(76)
4.2 80C51 单片机指令的寻址方式	(78)
4.3 80C51 单片机指令系统	(80)
4.4 汇编语言的程序设计	(92)
本章小结	(96)
思考与练习题 4	(96)
第 5 章 单片机的 C51 语言	(99)
5.1 C51 的程序结构	(99)



5.2	C51 的数据结构	(102)
5.3	C51 应用编程实例	(108)
	本章小结	(131)
	思考与练习题 5	(131)
第 6 章	单片机的中断系统	(134)
6.1	中断概念	(134)
6.2	80C51 单片机的中断控制系统	(138)
6.3	80C51 中断处理过程	(142)
6.4	中断的编程和应用举例	(144)
	本章小结	(148)
	思考与练习题 6	(149)
第 7 章	单片机的定时/计数器	(151)
7.1	定时/计数器的结构与工作原理	(151)
7.2	定时/计数器的控制	(153)
7.3	定时/计数器的工作方式	(154)
7.4	定时/计数器的编程和应用	(158)
	本章小结	(178)
	思考与练习题 7	(179)
第 8 章	单片机的串行通信技术	(182)
8.1	串行通信概述	(182)
8.2	80C51 串行口结构组成及控制寄存器	(186)
8.3	80C51 串行通信工作方式	(189)
8.4	串行通信编程和应用示例	(198)
	本章小结	(214)
	思考与练习题 8	(214)
第 9 章	单片机系统的扩展	(217)
9.1	单片机系统总线的构成	(217)
9.2	单总线的串行扩展	(220)
9.3	I ² C 总线的串行扩展	(230)
	本章小结	(243)
	思考与练习题 9	(243)
第 10 章	单片机系统综合应用	(246)
10.1	单片机应用系统开发的基本方法	(246)
10.2	交通信号灯模拟控制	(251)
10.3	A/D 和 D/A 综合应用系统设计	(275)
	本章小结	(295)
	思考与练习题 10	(295)
	参考文献	(298)

第 1 章 单片机基础知识概述



计算机是微电子学与计算数学相结合的产物,本章介绍计算机技术的发展、分类、特点与应用;介绍与计算机相关的数学等入门知识;介绍单片机的概念、发展及应用领域,以及典型单片机系列的基本情况。本章是以后各章的基础,对于已掌握这些知识的读者,本章将起到复习和系统化的作用。

1.1 电子计算机概述

1.1.1 电子计算机及其发展历史

世界上第一台电子计算机 ENIAC(electronic numerical integrator and computer)诞生于 1946 年 2 月 15 日,它标志着计算机时代的到来。ENIAC 是电子管计算机,时钟频率只有 100 kHz,在 1 秒钟的时间内能完成 5000 次加法运算。

在第一台计算机研制的过程中,匈牙利籍数学家冯·诺依曼在方案的设计上做出了重要的贡献。1946 年 6 月,他又提出了“程序存储”和“二进制运算”的思想,进一步构建了计算机由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备组成这一计算机的经典结构。如图 1-1 所示。

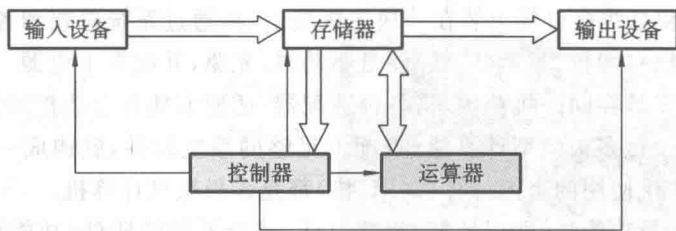


图 1-1 电子计算机的经典结构

与现代的计算机相比,ENIAC 有许多的不足,但它的问世开创了计算机技术的新纪元,对人类社会的生产和生活产生了巨大深远的影响。电子计算机技术的发展,相继经历了五个时代:电子管计算机;晶体管计算机;集成电路计算机;大规模集成电路计算机;超大规模集成电路计算机。计算机的结构仍然没有突破冯·诺依曼提出的计算机的经典结构框架。

第一台计算机诞生至今仅仅几十年的时间,计算机的性能已大大提高,价格在不断下降,已经广泛应用于人类生产生活的各个领域。

1.1.2 微型计算机简介

1. 微型计算机的组成

1971年世界上第一台微处理器(Intel4004)和微型计算机在美国旧金山南部的硅谷应运而生,从而开创了微型计算机发展的新时代。Intel公司的技术人员在设计时将微型计算机的运算器和控制器集成在一片硅片上,被称为微处理器,简称MPU(micro processing unit),也称中央处理器CPU(central processing unit)。它是微型计算机的核心芯片。

微处理器、存储器和I/O接口电路构成微型计算机。各组成部分之间通过系统总线联系起来。系统总线是各部件之间传送信息的公共通道,包括地址总线(AB)、数据总线(DB)和控制总线(CB)。如图1-2所示。

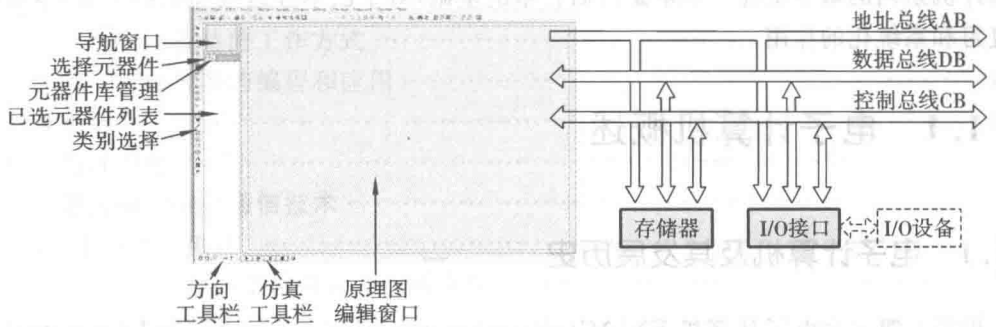


图 1-2 微型计算机的组成

2. 微型计算机的应用形态

从应用形态上,微机可以分成三种:多板机(系统机)、单板机、单片机。

1) 多板机(系统机)

多板微型计算机也叫系统机。它是根据系统要求把微处理器、存储器(ROM、RAM)芯片、I/O接口电路和总线接口等组装在一块主机板上,再通过系统总线和各种外设的适配器及适配卡连接键盘、打印机、显示器、软/硬盘驱动器、光驱,并配置上电源。将主机板、电源、软/硬盘驱动器等安装在同一机箱内,将各种适配器/适配卡插在总线扩展槽上,通过总线相互连接,就构成了一台多板微型计算机,再配上足够的系统软件,就构成一台完整的微型计算机。目前人们广泛使用的个人计算机(PC机)都是多板微型计算机。

多板微型机一般功能强、通用性好、组装灵活,选择不同的插件(功能部件适配卡)便可构成不同功能和要求的微型计算机系统或升级为高一档微机。

2) 单板机

将微处理器、存储器(ROM、RAM)、I/O接口芯片和简单的输入、输出设备(小键盘、LED显示器)等装配在一块印刷电路板上,再配上监控程序(固化在ROM中),就构成了一台单板计算机,简称单板机。它具有完全独立的微型计算机操作功能,但是,由于I/O设备简单,系统软件少,只能用机器语言编程,通常用于简单控制场合。

3) 单片机

在一个集成电路芯片上集成微处理器 CPU、存储器 RAM 和 ROM、输入/输出接口、中断、定时器/计数器等电路,从而构成一个完整的微型计算机,简称单片机。

单片机主要应用于测试和控制领域,在国际上,多把单片机称为微控制器(MCU:micro controller unit)。由于单片机在使用时,通常是处于测控系统的核心地位并潜入其中,所以通常也把单片机称为嵌入式微控制器(EMCU:embedded micro controller Unit)。在控制领域中,人们更多地关心计算机的低成本、小体积、运行的可靠性和控制的灵活性。特别是智能仪表、智能传感器、智能家电、智能办公设备、汽车以及军事电子设备等应用系统要求将计算机嵌入这些设备中。嵌入式应用的计算机可分为嵌入式微处理器(如 ARM)、嵌入式 DSP 处理器(如 TMS320 系列)、嵌入式微控制器(即单片机,如 AT89 系列)及嵌入式片上系统 SOC。

(1) 通用单片机和专用单片机。

单片机可以分为通用单片机和专用单片机两种机型。其中通用单片机就是含有比较丰富的内部资源,性能全面而且适用性强,能够满足用户的多种需要。用户可以根据实际需要再搭配上适当的外围电路设计成各种不同的控制系统。而专用型单片机是专门针对某一控制电路设计的,它只完成几种特定的功能,功能单一,结构简单,可靠性强。这种芯片是芯片厂商针对某些功能专门设计的,一般是使用厂家和芯片生产厂家联合设计和生产的。

(2) 单片机和单片机系统。

单片机一般指的是芯片本身,但仅仅只有单片机什么事情都做不了,因此要完成某项功能还必须要有一些与单片机配合工作的电路以及其他一些芯片,单片机以及这些外围电路、芯片就构成了一个系统,这样的系统就称为单片机系统。

(3) 单片机应用系统和单片机开发系统。

单片机应用系统,也就是前面讲的单片机系统,指的是以单片机为核心,能够实现某一特定功能的应用系统。单片机开发系统指的是用来开发单片机系统的系统,在开发单片机系统的过程中,往往需要进行调试、仿真等试验,单片机开发系统就能提供这些功能。图 1-3 所示为单片机应用系统。

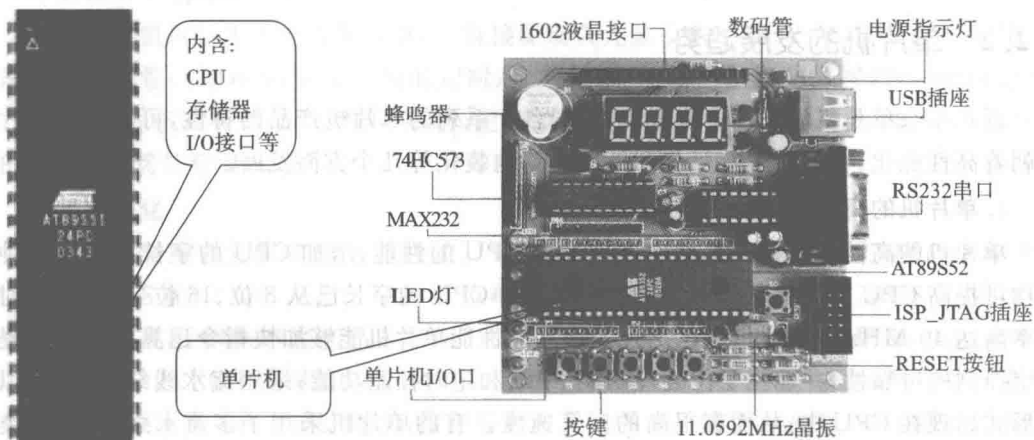


图 1-3 单片机应用系统



1.2 单片机的发展过程及发展趋势

1.2.1 单片机的发展历史

自 20 世纪 70 年代中期美国仙童(Fairchild)公司生产出第一台 F8 单片机到目前为止,单片机作为微型计算机的一个重要分支,其发展主要经历了以下四个阶段。

1. 第一阶段(1974—1976 年):单片机初级阶段

因半导体工艺限制,单片机采用双片的形式而且功能比较简单。例如仙童公司生产的 F8 单片机,实际上只包括了 8 位 CPU、64 个字节 RAM 和两个并行口。因此,还需加 1 块 3815(由 1K ROM、定时器/计数器和 2 个并行 I/O 口构成)才能组成一台完整的计算机。

2. 第二阶段(1976—1978 年):低性能单片机阶段

以 Intel 公司的 MCS-48 为代表。这个系列的单片机内集成有 8 位 CPU、并行 I/O 口、8 位定时器、RAM 和 ROM 等,寻址范围在 4K 内,不足之处是无串行口,中断处理比较简单。

3. 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。片内 RAM、ROM 容量加大,寻址范围可达 64K 字节,有的片内还带有 A/D 转换器接口。这类单片机的典型代表是 Intel 公司的 MCS-51 系列、Motorola 公司的 6801 系列和 Zilog 公司的 Z8 等。这类单片机的性价比较高,目前仍被广泛应用,是目前应用数量较多的单片机。

4. 第四阶段(1983—当今):8 位单片机巩固发展以及 16 位单片机 32 位单片机推出阶段

此阶段主要特征是一方面发展 16 位单片机、32 位单片机及专用型单片机;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。16 位单片机的典型产品如 Intel 公司的 MCS-96 系列。

1.2.2 单片机的发展趋势

近几年来单片机的发展速度很快,纵观各个系列的单片机产品的特性,可以看出单片机正朝着高性能化、存储器大容量化和外围电路内装化等几个方面发展。

1. 单片机的高性能化

单片机的高性能化主要是指进一步改进 CPU 的性能,增加 CPU 的字长或提高时钟频率均可提高 CPU 的数据处理能力和运算速度。CPU 的字长已从 8 位、16 位到 32 位。时钟频率高达 40 MHz 的单片机也已出现。这些高性能单片机能够加快指令运算的速度和提高系统控制的可靠性,并加强了位处理功能、中断和定时控制功能;采用流水线结构,指令以队列形式出现在 CPU 中,从而有很高的运算速度。有的单片机采用了多流水线结构,这类单片机的运算速度要比标准单片机的运算速度高出 10 倍以上。单片机内部采用双 CPU 结构也能大大提高处理能力,如 Rockwell 公司的 R6500/21 和 R65C29 单片机。由于片内有两



个 CPU 能同时工作,可以更好地处理外围设备的中断请求,克服了单 CPU 在多重高速中断响应时的失效问题。同时,由于双 CPU 可以共享存储器和 I/O 接口的资源,因此,还可更好地解决通信问题。如 Intel 公司的 8044,它的内部实际上是由 8051 和 SIU 通信处理机组成,由 SIU 来管理 SDLC 的通信。这样既加快了通信的速度,同时,还减轻了 8051 的处理负担。

2. 存储器大容量化

以往单片机内部的 ROM 为 1~4 KB, RAM 为 64~128 字节。因此在某些复杂的应用上,存储器容量不够,不得不外接扩充。为了适应这种领域的要求,运用新的工艺,使片内存储器大容量化。目前,单片机的 ROM 多达 16 K 字节, RAM 为 256 字节。

另外,片内 EPROM 开始 EE PROM 化发展。早期单片机内 ROM 有的采用可擦式的只读存储器 EPROM,然而 EPROM 必须要高压编程,紫外线擦除,给使用带来不便。近年来,推出的电擦除可编程只读存储器 EEPROM 可在正常工作电压下进行读写,并能在断电的情况下,保持信息不丢失。使用 EEPROM 或 FLASH RAM 的单片机采用在系统可编程技术(ISP, in system programable),大大方便了系统的调试及应用程序的升级。

3. 更多的外围电路内装化

加强片内输入/输出接口的种类和功能,这也是单片机发展的主要方向。最初的单片机,片内只有并行输入/输出接口、定时器/计数器。在实际应用中往往还要外接特殊的接口以扩展系统功能,增加了应用系统结构的复杂性。随着集成度的不断提高,有可能把更多的各种外围功能器件集成在片内。这不仅大大提高了单片机的功能,还使应用系统的总体结构也大大简化了,且提高了系统的可靠性,降低了系统的成本。例如,有些单片机的并行 I/O 口,能直接输出大电流和高电压,可直接用以驱动荧光显示管(VFD)、液晶显示管(LCD)和七段码显示管(LED)等。这样就减少了应用系统中的驱动器。再如有些单片机,片内含有 A/D 转换器,则在实时控制系统中可省掉外部 A/D 转换器。目前,在单片机中已出现的各类新颖接口有数十种:如 A/D 转换器、D/A 转换器、DMA 控制器、CRT 控制器、LCD 驱动器、LED 驱动器、正弦波发生器、声音发生器、字符发生器、波特率发生器、锁相环、频率合成器、脉宽调制器等。

4. 加强 I/O 的驱动能力

有的单片机可输出大电流和高电压,直接驱动荧光显示管(VFD)、液晶显示管(LCD)和七段数码显示管(LED)等;对于片内的定时/计数器,有些增加了时间监视器(watchdog)功能;还有的单片机具有锁相环(PLL)控制、正弦波发生器和发声等特殊功能,如 Motorola 公司的 6805T2 就带有 PLL 逻辑。

5. 低功耗化

单片机的制造工艺直接影响其性能。早期的单片机采用 PMOS 工艺,随后逐渐采用 NMOS、HMOS 和 CMOS 工艺。目前,8 位单片机中有二分之一产品已 CMOS 化,16 位单片机也已开始推出 CMOS 型产品。如 68HC200、80C196 等。为了进一步降低功耗,日立公司的 HD63705 和 RCA 公司的 CDP6805E2 还设有等待(wait)和停止(stop)两种工作方式。等待方式下,振荡器工作,CPU 停止,存储器的内容则不变。停止方式下,振荡器和 CPU 都停止工作,存储器和寄存器内容也保持不变。等待方式下,由于 CPU 停止工作,使单片机的总功耗大大下降。停止方式下,则单片机的功耗为最小,例如 RCA 公司的 CDP8605E2,在 5

V 工作电压下,正常功耗为 35 mW,等待和停止方式下的功耗分别仅为 5 mW 和 5 μ W。用电池供电的低电压工作、低功耗单片机非常适合野外作业的工控设备。

1.2.3 单片机的产品状况

随着微电子技术及计算机技术的不断发展,单片机产品和技术日新月异。单片机产品近况可以总结如下。

1. 80C51 系列单片机

- (1)ATMEL 公司融入 Flash 存储器技术的 AT89 系列;
- (2)Philips 公司的 80C51、8XC552 系列;
- (3)华邦公司的 W78C51、W77C51 高速低价系列;
- (4)ADI 公司的 AD μ C8xx 高精度 ADC 系列;
- (5)LG 公司的 GMS90/97 低压高速系列;
- (6)Maxim 公司的 DS89C420 高速(50MIPS)系列;
- (7)Cygnal 公司的 C8051F 系列高速 SOC 单片机;
- (8)AMD 公司的 8-515/535 单片机;
- (9)Siemens 公司的 SAB80512 单片机等。

2. 非 80C51 结构单片机

- (1)Intel 公司的 MCS-96 系列 16 位单片机;
- (2)Microchip 公司的 PIC 系列 RISC(精简指令集计算机)结构单片机;
- (3)TI 公司的 MSP430F 系列 16 位低电压、低功耗单片机;
- (4)ATMEL 公司的 AVR 系列 RISC 结构单片机;

3. MCS-51 系列单片机

MCS-51 系列单片机是 Intel 公司在 MCS-48 系列单片机的基础之上推出的高性能 8 位单片机。它基本上可以满足用户的一般要求,它是工业过程控制、智能化仪器、数控机床、位总线分布式控制,以及通信系统的优选机种。1983 年 Intel 公司又推出了 16 位 MCS-96 系列单片机。MCS-51 系列单片机有多种产品,但经常使用的是基本型和增强型等。

1) 基本型(又称 51 子系列)

基本型有 8031、8051、8751、80C31、80C51、87C51 等。8031 与 80C31 的不同点在于前者采用了 HMOS 工艺制造,后者采用了 CHMOS 工艺制造。

2) 增强型(又称 52 子系列)

增强型有 8032、8052、8752、80C32、80C52、87C52 等。此种单片机的内部 ROM 和 RAM 容量比基本型的增大一倍。

3) 低功耗基本型

低功耗基本型有 80C31BH、80C51BH、87C51 等。这类型号带有“C”字的单片机是采用 CHMOS 工艺,CHMOS 是 CMOS 和 HMOSD 的结合,保持了 HMOS 高速和高密度的特点,又具有 CMOS 低功耗的特点。低功耗基本型采用了两种掉电工作方式:一种是软件启动空闲方式,也就是 CPU 停止工作,其他部分仍继续工作;另一种是软件启动掉电方式,即除片内 RAM 继续保持数据外,其他工作都停止。87C51 还有两级程序存储器保密系统,防



止非法拷贝程序。

表 1-1 列出了 MCS-51 系列单片机的内部硬件资源。

表 1-1 MCS-51 系列单片机的内部硬件资源

类	芯片型号	存储器类型及字节数		片内其他功能单元数量				
		ROM	RAM	并行口	串行口	定时/计数器	中断源	
总线型	基本型	80C31	无	128	4 个	1 个	2 个	5 个
		80C51	4K 掩膜	128	4 个	1 个	2 个	5 个
		87C51	4K EPROM	128	4 个	1 个	2 个	5 个
		89C51	4K Flash	128	4 个	1 个	2 个	5 个
	增强型	80C32	无	256	4 个	1 个	3 个	6 个
		80C52	8K 掩膜	256	4 个	1 个	3 个	6 个
		87C52	8K EPROM	256	4 个	1 个	3 个	6 个
		89C52	8K Flash	256	4 个	1 个	3 个	6 个
非总线型	89C2051	2K Flash	128	2 个	1 个	2 个	5 个	
	89C4051	4K Flash	128	2 个	1 个	2 个	5 个	

4. ATMEL89 系列单片机简介

ATMEL89 系列(以下简称 AT89)单片机是美国 ATMEL 公司生产的 8 位高性能单片机,其主要技术优势是内部含有可编程 Flash 存储器,用户可以很方便地进行程序的擦写操作,在嵌入式控制领域中被广泛应用。AT89 系列单片机与工业标准 MCS-51 系列单片机的指令组和引脚是兼容的,因而可替代 MCS-51 系列单片机使用。此外,AT89 系列的单片机又增加了一些新的功能,如看门狗定时器 WDT、ISP 及 SPI 串行接口等,其中 AT89S52 单片机的时钟频率高达 40 MHz,支持由软件选择的两种掉电工作方式,非常适合电池供电和其他要求低功耗的场合。AT89 系列单片机可分为标准型、低档型和高档型三种类型。表 1-2 列举出 AT89 系列单片机的概况。

表 1-2 AT89 系列单片机的概况

型号	AT89C51	AT89C52	AT89C2051	AT89S51	AT89S52
档次	标准型		低档型	高档型	高档型
Flash/KB	4	8	2	2	8
片内 RAM/KB	128	256	128	128	256
I/O/条	32	32	15	15	32
定时器/个	2	3	2	2	3
中断源/个	6	8	6	6	9
串行接口/个	1	1	1	1	1
M 加密/级	3	3	2	2	3
片内振荡器	有	有	有	有	有
EEPROM/KB	无	无	无	无	无



AT89C51 和 AT89S51 单片机片内有 4KB Flash 存储器,可使用编程器编程或 ISP 重复编程,且价格低廉,因此 AT89 系列单片机受到了应用设计者的欢迎。尽管 AT89 系列单片机有多种机型,由于 AT89C51/52 单片机不支持 ISP(In System Program 在系统编程),已经停产,因此掌握好 AT89S51 是十分重要的。AT89S51 是具有 8051 内核的各种型号单片机的基础,具有典型性、代表性,也是各种增强型、扩展型等衍生品种的基础。

本书以 80C51、89C51、89S51 为 51 单片机的代表机型来进行详细介绍,个别地方仍继续使用工业标准的 MCS-51 的名称表示,请读者注意。

1.2.4 单片机的应用

单片机主要用在控制领域,也可成为单片微控制器(SCM),主要是用来实现各种测试和控制功能。在现代社会,自动控制随处可见,从电视机、空调到汽车、卫星,到处都离不开自动控制,就连家里用的电饭锅在饭熟了后自动跳到保温挡也属于自动控制。单片机就是用来进行这些自动控制的。有专家指出:在 2000 年一个普通美国家用系统就用到单片机 26 个,一个自动化办公公司用到了 42 个单片机,一辆汽车用到了 35 个单片机。单片机应用为什么如此广泛呢?主要是因为以单片机为核心构成的应用系统与一般的微型计算机相比具有以下特点。

- (1)小巧灵活、成本低易于产品化。
- (2)可靠性高,抗干扰能力强,适应温度范围宽。
- (3)易扩展,很容易构成各种规模的应用系统。
- (4)控制功能强。具有位处理指令,有很强的逻辑操作功能。
- (5)容易实现多机和分布式控制。

按照单片机的特点,单片机在下述领域得到了广泛应用。

1. 工业应用

用单片机可构成各种工业控制系统、自适应控制系统、数据采集系统等,达到测量与控制的目的。例如:温室人工气候控制、水闸自动控制、电镀生产自动控制、汽轮机电液调节系统、车辆检测系统等。

2. 测控与通信系统

在计算机系统中,特别是较大型的工业测控系统中,如果用单片机进行接口的控制与管理,单片机与主机可并行工作,大大提高了系统的运行速度。例如,在大型数据采集系统中,用单片机对模/数转换接口进行控制不仅可提高采集速度,还可对数据进行预处理,如数字滤波、线性化处理、误差修正等。在调制解调器、各类手机、传真机、程控电话交换机、信息网络与各种通信设备中,单片机也得到了广泛应用。

3. 智能仪器仪表

用单片机改造原有的测量、控制仪表,能推动仪表向数字化、智能化、多功能化、综合化方向发展。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、线性化处理等用硬件电路难以实现的难题迎刃而解。



4. 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,构成新一代的机电一体化产品。例如在电传打字机的设计中由于采用了单片机可提高可靠性及增强功能,降低控制成本。

5. 消费类电子产品

单片机在家电设备中应用非常普及。目前家电产品不断提高了智能化程度,如洗衣机、电冰箱、空调器、电风扇、电视机、微波炉、消毒柜、医疗设备等。

6. 武器装备

在现代化的武器装备中,如飞机、军舰、坦克、导弹、航空航天系统中都有单片机嵌入其中。

7. 汽车应用

各种汽车电子设备,如汽车安全系统、汽车信息系统、自动驾驶系统、卫星导航系统、汽车防撞系统等,都使用了单片机。

1.3 常用数制、编码和计算机中数的表示

计算机的最基本功能是对数据进行计算和处理加工。数在微型计算机中是以器件的物理状态来表示的,为了使表示更为方便和可靠,在计算机中主要采用了二进制数字系统。或者说,计算机只认得二进制数,即要机器处理的所有的数,都要用二进制数字系统来表示;所有的字母、符号亦都要用二进制编码来表示。所以,我们的分析从二进制数字系统着手。

1.3.1 数制及数制间的转换

1. 进位计数制

所谓数制就是计数的方法。在生产实践中,人们创造了许多计数方法,如二进制、十进制、十六进制等。而计数体制都采用位置计数法,即以特定的一些数字符号(也称数码)排列起来,每个符号处于不同位置作为各位的系数,每个位置都有一定的位权。其数值就是把各位的位权乘以该位的系数之和。

1) 十进制数(Decimal,用D表示)

十进制是以十为基数的计数制。十进制数有0、1、2、3、4、5、6、7、8、9十个数码,其进位规则是“逢十进一”。各位的系数为其中之一,各位的位权是以十为底的整数次幂,如:

$$431.25 = 4 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 1 \times 10^0 + 2 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}$$

式中, 10^2 、 10^1 、 10^0 、 10^{-1} 、 10^{-2} 是根据每一位数码所在的位置而定的,所以称之为位权。

任意一个十进制数D可展开为

$$D = \sum_{i=-\infty}^{\infty} K_i 10^i \quad (1-1)$$

式(1-1)中: K_i 是第*i*位的系数,它可以是0~9十个数码中的任何一个; 10^i 称为第*i*位的权,称之为按权展开式。

通常,对十进制数的表示,可以在数字的右下角标注 10,如 $(15)_{10}$ 。

若以 N 代替式(1-1)中的 10,则可得到任意进制数的展开式:

$$D = \sum_{i=-\infty}^{\infty} K_i N^i \quad (1-2)$$

式(1-2)中: K_i 是第 i 位的系数, N 为计数基数; N^i 称为第 i 位的权。 $K_i \times N^i$ 为第 i 位的加权系数,故任意进制数的数值就等于各加权系数之和。

2) 二进制数(Binary,用 B 表示)

在数字电路中常采用的是二进制,因为二进制只有两个数码 0 和 1,可以直接与电路的两个状态(导通或截止)直接对应。二进制是以 2 为基数的计数体制,其进位规则是“逢二进一”。各位的系数为 0 或 1,各位的位权是以 2 为底的整数次幂,其按权展开式与十进制相同,如:

$$(101.01)_2 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$$

一位二进制数也叫一比特(bit),八位二进制数叫一字节,十六位二进制数叫一个字。二进制的位数叫字长。例如一字节字长是八位,一字长是十六位等。

3) 十六进制数(Hexadecimal,用 H 表示)

在数字系统中,二进制数位往往很长,读写不方便,一般采用八进制或十六进制对二进制数进行读和写。

十六进制数是以 16 为基数的计数体制,其进位规则是“逢十六进一”。各位的系数为 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E 和 F 十六个数码,各位的位权是以 16 为底的整数幂。为便于区分十进制数和十六进制数,人们规定,凡注有下标 16 或 H 的数为十六进制数(H 代表 hexadecimal number)。其按权展开式与十进制相同,如:

$$(3BD.2)_{16} = 3 \times 16^2 + 11 \times 16^1 + 13 \times 16^0 + 2 \times 16^{-1}$$

十六进制数的主要特点如下。

(1) 用 16 个不同的数码符号 0~9 以及 A、B、C、D、E、F 来表示数值。

(2) 它是逢“十六”进位的。因此,在不同数位,数码所表示的值是不同的。

(3) 如果十六进制数的最高位是 A、B、C、D、E、F 中的符号之一,则应在前面加 0,说明是数字而不是文字,例如十六进制数 A7CBH 应该写成 0A7CBH。

2. 数制之间的转换

1) 非十进制数转换为十进制数

将非十进制数转换为十进制数,通常采用“按权展开法”,即将非十进制数的按权展开式按照十进制的规律进行运算,就可以得到等值的十进制数。

【例 1-1】 将 $(101.11)_2$ 转换成十进制数。

【解】

$$\begin{aligned} (101.11)_2 &= 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} \\ &= 4 + 0 + 1 + 0.5 + 0.25 \\ &= 5.75 \end{aligned}$$

2) 十进制数转换为非十进制数

十进制整数和小数转换成非十进制数的方法是不同的。整数部分可以采用连除法,即将原十进制数连续除以转换计数体制的基数,每次除完所得的余数就作为要转换的系数。先得到的余数为转换数的低位,后得到高位,直到除得的商为 0 为止。这种方法概括起来可



说成“除基数、得余数、作系数、从低位,到高位”。十进制小数部分转换成非十进制小数可采用连乘法,即将原十进制纯小数乘以要转换出的数制的基数,取其积的整数部分作系数,剩余的纯小数部分再乘基数,先得到的整数作新数的高位,后得到的作低位,直至其纯小数部分为0或到一定精度为止。这种方法概括起来可说成“乘基数、取整数、作系数、从高位,到低位”。

【例 1-2】 将 $(27.75)_{10}$ 转换成二进制数。

【解】

第一步,先将整数部分转换成二进制数

$$\begin{array}{r}
 2 \overline{) 27} \quad \text{余数} \\
 \underline{20} \quad \dots \dots 1 \\
 2 \overline{) 13} \quad \dots \dots 1 \\
 \underline{10} \quad \dots \dots 1 \\
 2 \overline{) 6} \quad \dots \dots 0 \\
 \underline{4} \quad \dots \dots 1 \\
 2 \overline{) 3} \quad \dots \dots 1 \\
 \underline{2} \quad \dots \dots 1 \\
 2 \overline{) 1} \quad \dots \dots 1 \\
 \underline{0} \quad \dots \dots 1
 \end{array}$$

即 $(27)_{10} = (11011)_2$

第二步,再将小数部分转换成二进制数

$$\begin{array}{r}
 \text{整数} \\
 0.75 \times 2 = 1.5 \dots \dots 1 \downarrow \\
 0.5 \times 2 = 1.0 \dots \dots 1 \downarrow
 \end{array}$$

即 $(0.75)_{10} = (0.11)_2$

所以 $(27.75)_{10} = (11011.11)_2$

3) 二进制数与八进制数、十六进制数相互转换

由于 $2^3=8$,所以一位八进制数(十六进制数)相当于3(4)位二进制数,它们是完全对应的。因此二进制数转换成八进制数(十六进制数)的规则如下:

从小数点算起,向左或向右每3(4)位分成一组,最后不足3(4)位用0补齐,每组用1位等值的八进制数(十六进制数)表示即得到要转换的八进制数(十六进制数)。

【例 1-3】 将 $(10111011.01111)_2$ 转换成八进制数和十六进制数。

【解】

$$\begin{array}{r}
 \text{八进制} \quad 2 \quad 7 \quad 3 \quad 3 \quad 6 \\
 \text{二进制} \quad \overbrace{010111011} \quad \overbrace{01111000} \\
 \text{十六进制} \quad \underline{B} \quad \underline{B} \quad \underline{7} \quad \underline{8}
 \end{array}$$

即 $(10111011.01111)_2 = (273.36)_8 = (BB.78)_{16}$

反之,八进制数(十六进制数)转换成二进制数时,只要将每位八进制数(十六进制数)分别写成相应的3(4)位二进制数,按原来的顺序排列起来即可。整数最高位一组左边的0及小数最低位一组右边的0可以省略。

【例 1-4】 将 $(26.35)_8$ 转换成二进制数。

【解】

$$\begin{array}{r}
 2 \quad 6 \quad 3 \quad 5 \\
 \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \\
 010 \quad 110 \quad 011 \quad 101
 \end{array}$$

即 $(26.35)_8 = (10110.011101)_2$



1.3.2 计算机中常用的编码

如前所述,在计算机中采用的是二进制数,因而,要在计算机中表示的数、字母、符号等都要以特定的二进制码来表示,这就是二进制编码。

1. BCD(binary codeed decimal)码——二进制编码的十进制数

因二进制数实现容易、可靠,二进制的运算规律十分简单。所以,在计算机中采用二进制。但是,二进制数不直观,于是在计算机的输入和输出端通常还是用十进制数表示。不过这样的十进制数,要用二进制编码来表示。

一位十进制数用四位二进制编码来表示,表示的方法可以很多,较常用的是 8421BCD 码,表 1-3 列出了一部分编码关系。

表 1-3 BCD 编码表

十进制数	8421 BCD 码	十进制数	8421 BCD 码
0	0000	8	1000
1	0001	9	1001
2	0010	10	0001 0000
3	0011	11	0001 0001
4	0100	12	0001 0010
5	0101	13	0001 0011
6	0110	14	0001 0100
7	0111	15	0001 0101

8421 BCD 码有十个不同的数字符号,但它是逢“十”进位的,所以,它是十进制数;它的每一位是用四位二进制编码来表示的,因此,称为二进制编码的十进制数(BCD-binary codeed decimal)。

BCD 码是比较直观的。

例如:(0100 1001 0111 1000.0001 0100 1001)_{BCD}可以很方便地认出为:4978.149。

由上述可知,只要熟悉了 BCD 的四位编码,立即可以很容易地实现十进制与 BCD 码之间的转换。但是 BCD 码与二进制之间的转换是不直接的,要先经过十进制。即:BCD 码先转换为十进制码,然后再转换为二进制;反之亦然。

2. 字母与字符的编码

如上所述,字母和各种字符也必须按特定的规则用二进制编码才能在微型计算机中表示。编码也可以有各种方式。目前在微型机中最普遍的是采用 ASCII(American standard code for information interchange 美国信息交换标准代码),编码表如表 1-4 所示。

表 1-4 ASC II (美国信息交换标准代码)表

列	0	1	2	3	4	5	6	7
位 654→ ↓ 3210	000	001	010	011	100	101	110	111
0000	NUL	DLE	SP	0	@	P	,	p

续表

列	0	1	2	3	4	5	6	7
0001	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
0010	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
0011	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
0100	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t
0101	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
0110	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
0111	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
1000	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
1001	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
1010	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
1011	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
1100	FF	FS	,	<	L	\	l	|
1101	CR	GS	-	=	M	]	m	}
1110	SO	RS	.	>	N	↑	n	~
1111	SI	US	/	?	O	←	o	DEL

它是用七位二进制编码,故可表示 128 个字符,其中包括数码(0~9),以及英文字母等可打印的字符。从表 1-4 中可看到,数码 0~9,它是对应用 0110000~0111001 来表示的。因微型机通常字长为 8 位,所以通常 bit7 用作奇偶校验位,但在计算机中表示时,常认其为零,故用一个字长(即一个字节)来表示一个 ASC II 字符。于是 0~9 的 ASC II 码为 30H~39H;大写字母 A~Z 的 ASC II 码为 41H~5AH。

1.3.3 计算机中数的表示

1. 计算机中二进制数的存储单位

在计算机中,表示数据或信息全部用的是二进制数,数据一般存储在存储器中,常用表示二进制数的 3 个基本单位从小到大依次为:位、字节和字。

1) 位(bit)

位是二进制数的最小单位,读作“比特”。在计算机中位仅能存放一位二进制数码 1 或 0,一般可用于表示两种状态,如“开”或“关”,“真”或“假”。

2) 字节(byte)

字节由 8 位二进制数构成(1byte=8bit),读作“比特”。字节是计算机最基本的数据单位,也是衡量数据量多少的基本单位,计算机中的数据、代码、指令和地址等,通常都是以字节为单位的。

3) 字(word)

字是由两个字节的二进制数构成,即 16 位二进制数。将两个字构成的数定义为双字。