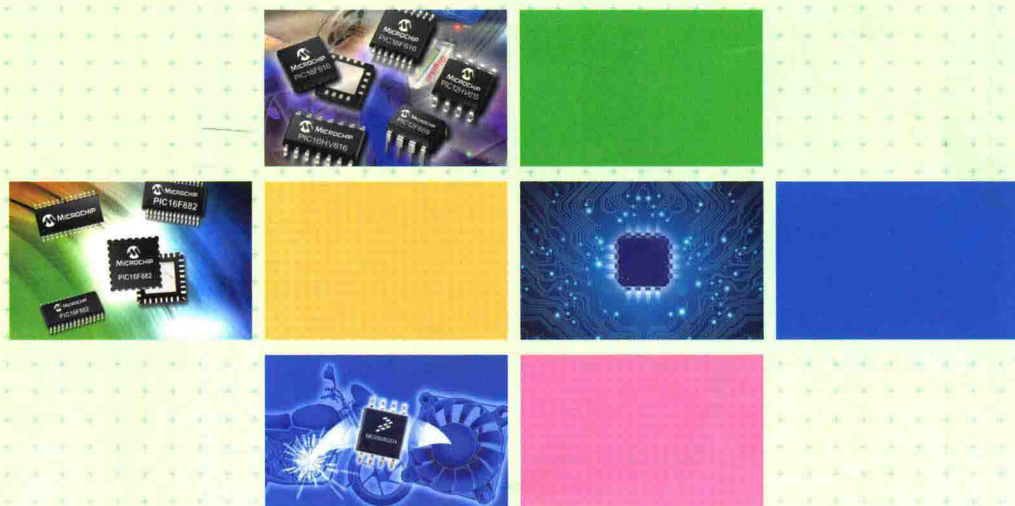


教育“十三五”规划教材

单片机原理与应用 实例教程

DANPIANJI YUANLI YU YINGYONG SHILI JIAOCHENG

黄灿胜 主编

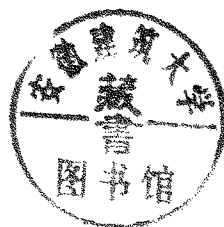


中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

“十三五”规划教材

单片机原理与应用实例教程

黄灿胜 主 编
马 超 金利超 副主编



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

本书是由具有丰富教学经验的一线教师在多年的“单片机原理与应用”课程教学、实验的基础上,结合目前单片机的广泛应用和新技术发展而编写的。

全书共分 11 章,内容包括:微型计算机基础知识、MCS-51 系列单片机芯片结构、MCS-51 系列单片机指令系统、汇编语言程序设计、MCS-51 系列单片机存储器扩展技术、MCS-51 系列单片机的中断与定时系统、MCS-51 系列单片机 I/O 口扩展及应用、MCS-51 系列单片机串行数据通信、MCS-51 系列单片机的 A/D 和 D/A 转换器接口、AT89C2051 单片机简介、MCS-51 系列单片机应用系统设计。本书以大量的实例形式进行分析,力求通俗易懂。

本书适合作为高等院校机电类、通信类、电子类及计算机类专业的教材,也可作为单片机技术的培训教材,同时还可供广大从事单片机应用开发的科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理与应用实例教程/黄灿胜主编. —北京:
中国铁道出版社,2017. 11
高等工科教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-113-23366-2

I. ①单… II. ①黄… 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(2017)第 219074 号

书 名:单片机原理与应用实例教程
作 者:黄灿胜 主编

策 划:许 璐
责任编辑:许 璐
编辑助理:绳 超
封面设计:刘 颖
责任校对:张玉华
责任印制:郭向伟

读者热线:(010)63550836

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街 8 号)
网 址:<http://www.tdpress.com/51eds/>
印 刷:三河市宏盛印务有限公司
版 次:2017 年 11 月第 1 版 2017 年 11 月第 1 次印刷
开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:14 字数:332 千
书 号:ISBN 978-7-113-23366-2
定 价:34.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社教材图书营销部联系调换。电话(010)63550836

打击盗版举报电话:(010)51873659

前 言

随着计算机技术的高速发展,单片机基于自身特点开发的智能化测控设备和产品广泛应用到各个领域,促进了生产技术水平的提高。为此,企业迫切需要大量熟练掌握单片机技术,并能开发、应用和维护管理这些智能化产品的高级工程技术人才。为了适应这一人才培养目标,配合计算机类、机电技术类、自动控制类、通信类等相关专业的专业建设和教材改革的需要,我们编写了本书。

本书以单片机的内部和外部资源为主要线索,由浅入深,并结合大量的应用实例介绍了我国目前应用较多的 MCS-51 系列单片机应用系统的设计原理及实际应用。全书共分 11 章。主要包括:

第 1 章:微型计算机基础知识。主要介绍了微型计算机的组成和工作原理、单片机的历史及发展情况、特点及应用领域,并讲述了计算机中数据的表示方法及其运算过程。

第 2 章:MCS-51 系列单片机芯片结构。主要介绍了 MCS-51 系列单片机的内部结构、中央处理器、CPU 时序及引脚功能、存储器的结构以及 I/O 口。

第 3 章:MCS-51 系列单片机指令系统。主要介绍了 MCS-51 单片机指令系统的寻址方式、MCS-51 指令系统的使用要点和操作过程,并以图示法加以说明。

第 4 章:汇编语言程序设计。主要介绍了三种语法结构,并用大量的例子进行由浅入深的介绍。

第 5 章:MCS-51 系列单片机存储器扩展技术。主要介绍了各种存储器的特点和各种存储器的扩展方法。

第 6 章:MCS-51 系列单片机的中断与定时系统。主要介绍了中断的基本概念、中断源和中断控制、外部中断源的扩展以及中断系统设计中应注意的几个问题。详细介绍了定时器/计数器的结构、工作方式,并结合实例介绍了 MCS-51 系列单片机的定时器/计数器在各种工作方式下的硬件设计以及定时器/计数器的扩展应用。

第 7 章:MCS-51 系列单片机 I/O 口扩展及应用。主要介绍了利用各种常见芯片进行 I/O 口扩展的相关知识及设计方法。详细介绍了 MCS-51 系列单片机与各种键盘、LED 显示器的接口技术及设计方法。

第 8 章:MCS-51 系列单片机串行数据通信。主要介绍了 MCS-51 系列单片机的串行口的功能与结构、工作方式及波特率设置,并结合应用实例分析了串行口的使用方法。

第 9 章:MCS-51 系列单片机的 A/D 和 D/A 转换器接口。主要介绍了 D/A(数/模)、A/D(模/数)转换原理及常用 A/D、D/A 转换芯片的使用方法。

第 10 章:AT89C2051 单片机简介。以 ATMEL 公司生产的 8 位单片机 AT89C2051 为例,介绍了其主要性能、引脚功能以及工作过程。

第 11 章:MCS-51 系列单片机应用系统设计。主要介绍了 MCS-51 系列单片机及应用系统的特点,并分步介绍了单片机及应用系统设计的方法以及要考虑的各种因素。最后以实例

具体说明了单片机及应用系统设计的过程。

本书遵循“理论够用,突出实用”的宗旨。与同类书相比,具有如下特点:

- (1) 着眼于应用,力求在较短的时间内使学生掌握单片机的应用技术。
- (2) 在章节的安排上,注意原理和应用并重。
- (3) 列举大量实例,使学生能借助基本内容,举一反三,灵活应用。
- (4) 循序渐进,通俗易懂。

本书由广西民族师范学院黄灿胜任主编,由黑龙江农垦科技职业学院马超、金利超任副主编。具体分工如下:黄灿胜负责编写第1章~第4章,马超负责编写第5章~第7章,金利超负责编写第8章~第11章,全书由黄灿胜负责统稿。

本书适合作为高等院校机电类、通信类、电子类及计算机类专业的教材,也可作为单片机技术的培训教材,同时还可供广大从事单片机应用开发的科研人员参考。

由于编者水平有限,再加上时间仓促,书中疏漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2017年9月

目 录

第1章 微型计算机基础知识..... 1

- 1.1 微型计算机的组成及工作原理 ... 1
 - 1.1.1 微型计算机中的基本概念 ... 1
 - 1.1.2 微型计算机基本结构 2
 - 1.1.3 微型计算机的基本工作
过程 2
- 1.2 单片机的应用模式 3
 - 1.2.1 单片机应用系统的结构 3
 - 1.2.2 单片机系统的开发过程 4
- 1.3 单片机的应用 4
- 1.4 数制与编码 5
 - 1.4.1 数制的表示 5
 - 1.4.2 常用的信息编码 8
- 习题1 10

第2章 MCS-51 系列单片机

- 芯片结构 12
- 2.1 MCS-51 系列单片机的结构
原理..... 12
 - 2.1.1 MCS-51 系列单片机逻辑
结构..... 12
 - 2.1.2 MCS-51 系列单片机内部
结构..... 13
 - 2.1.3 引脚信号..... 15
- 2.2 MCS-51 系列单片机的存储器... 17
 - 2.2.1 内部数据存储器..... 17
 - 2.2.2 外部数据存储器..... 21
 - 2.2.3 程序存储器..... 21
- 2.3 MCS-51 系列单片机输入/输出
(I/O)口 22
 - 2.3.1 P0 口 22
 - 2.3.2 P1 口 23

- 2.3.3 P2 口 23
- 2.3.4 P3 口 24

- 2.4 MCS-51 系列单片机的
工作方式..... 25
 - 2.4.1 复位及复位电路..... 25
 - 2.4.2 时钟电路和时序..... 26
 - 2.4.3 单片机的低功耗方式..... 28
- 习题2 28

第3章 MCS-51 系列单片机

指令系统 31

- 3.1 MCS-51 系列单片机指令格式 ... 31
- 3.2 寻址方式..... 32
 - 3.2.1 立即寻址 32
 - 3.2.2 直接寻址..... 33
 - 3.2.3 寄存器寻址 33
 - 3.2.4 寄存器间接寻址方式..... 34
 - 3.2.5 位寻址..... 34
 - 3.2.6 基址寄存器加变址寄存器
间接寻址..... 35
 - 3.2.7 相对寻址..... 35
- 3.3 指令系统..... 36
 - 3.3.1 指令分类..... 36
 - 3.3.2 数据传送类指令..... 37
 - 3.3.3 算术运算类指令..... 41
 - 3.3.4 逻辑运算及移位类指令..... 44
 - 3.3.5 控制转移类指令..... 46
 - 3.3.6 位操作类指令..... 49
- 习题3 53

第4章 汇编语言程序设计 56

- 4.1 汇编语言程序设计概述..... 56
 - 4.1.1 汇编语言程序设计步骤..... 57

4.1.2 伪指令语句.....	57	寄存器状态设置.....	95
4.2 顺序程序设计.....	59	6.2.4 中断处理过程.....	95
4.3 分支程序设计.....	61	6.2.5 中断请求的撤销.....	97
4.4 循环程序设计.....	64	6.2.6 MCS-51 系列单片机单步 执行工作方式.....	98
4.5 子程序设计.....	70	6.3 MCS-51 系列单片机的定时器/ 计数器.....	98
习题 4	73	6.3.1 基本结构.....	98
第 5 章 MCS-51 系列单片机存储器 扩展技术	74	6.3.2 控制寄存器.....	99
5.1 存储器系统基本知识.....	74	6.3.3 工作方式.....	99
5.1.1 存储器的分类.....	74	6.4 中断系统的应用举例	104
5.1.2 存储器的主要性能指标.....	76	6.4.1 外部中断应用举例	104
5.2 系统扩展概述.....	77	6.4.2 定时器应用举例	105
5.3 访问外部程序、数据存储器的 时序.....	78	6.4.3 用定时器制作 “航标灯”	106
5.3.1 访问外部程序存储器的 时序.....	78	6.5 综合实例 发光灯闪烁设计 ..	108
5.3.2 访问外部数据存储器的 时序.....	79	习题 6	111
5.4 存储器扩展的编址技术.....	80	第 7 章 MCS-51 系列单片机 I/O 口 扩展及应用.....	113
5.4.1 线选法.....	80	7.1 I/O 口扩展概述	113
5.4.2 译码法.....	81	7.1.1 I/O 口扩展的原因	113
5.5 程序存储器的扩展.....	83	7.1.2 I/O 口的编址技术	114
5.6 数据存储器的扩展.....	85	7.1.3 单片机 I/O 传送的方式 ..	114
5.6.1 数据存储器的扩展概述.....	85	7.2 简单 I/O 口的扩展	115
5.6.2 数据存储器扩展使用的 典型芯片.....	86	7.2.1 简单输入扩展	115
5.6.3 闪速存储器及其扩展.....	88	7.2.2 简单输出扩展	116
习题 5	89	7.3 8255 可编程通用并行接口 芯片	117
第 6 章 MCS-51 系列单片机的中断 与定时系统	91	7.3.1 8255 的外部引脚和 内部结构	118
6.1 中断的基本概念.....	91	7.3.2 8255 的扩展逻辑电路	119
6.2 MCS-51 系列单片机的 中断系统.....	92	7.3.3 8255 的工作方式	120
6.2.1 MCS-51 系列单片机的 中断源.....	92	7.3.4 8255 的控制字及初始化 程序	122
6.2.2 中断控制的专用寄存器.....	92	7.3.5 8255 的应用举例	123
6.2.3 中断初始化与中断控制		7.4 8155 可编程通用并行接口 芯片	126

7.4.1 8155 的外部引脚和内部结构	126	转换器的接口和应用	160
7.4.2 8155 的命令/状态字	127	9.2.1 典型 A/D 转换器芯片 ADC0809	160
7.4.3 8155 的扩展逻辑电路	129	9.2.2 MCS-51 系列单片机与 ADC0809 的接口	162
7.4.4 8155 的定时器/计数器	130	9.2.3 A/D 转换应用举例	164
7.4.5 8155 的初始化	131	9.3 综合实例 小直流电动机控制设计	165
7.4.6 8155 的应用举例	132	习题 9	168
7.5 综合实例 交通灯控制设计	137		
习题 7	140		
第 8 章 MCS-51 系列单片机串行数据通信	142	第 10 章 AT89C2051 单片机简介	170
8.1 串行通信的基础知识	142	10.1 AT89C2051 内部结构与功能	170
8.1.1 数据传送	142	10.1.1 AT89C2051 主要性能	170
8.1.2 数据转换	143	10.1.2 AT89C2051 的结构框图	171
8.2 MCS-51 系列单片机串行通信的控制寄存器	144	10.1.3 AT89C2051 的引脚说明	172
8.3 MCS-51 系列单片机串行通信工作方式	145	10.2 振荡器和特殊功能寄存器	173
8.3.1 串行工作方式 0	146	10.2.1 振荡器	173
8.3.2 串行工作方式 1	147	10.2.2 特殊功能寄存器 (SFR)	173
8.3.3 串行工作方式 2	148	10.3 指令约束条件和 CPU 工作方式	174
8.3.4 串行工作方式 3	149	10.3.1 指令约束条件	174
8.4 综合实例 用方式 1 实现双机串行通信	149	10.3.2 程序存储器加密位	175
习题 8	152	10.3.3 CPU 工作方式	175
第 9 章 MCS-51 系列单片机的 A/D 和 D/A 转换器接口	154	10.4 对 Flash 存储器的编程	176
9.1 MCS-51 系列单片机与 D/A 转换器的接口和应用	154	10.4.1 编程闪速存储器	176
9.1.1 典型 D/A 转换器芯片 DAC0832	154	10.4.2 编程接口	178
9.1.2 DAC0832 的工作方式	156	习题 10	179
9.1.3 单缓冲方式的接口与应用	156		
9.1.4 双缓冲方式的接口与应用	159	第 11 章 MCS-51 系列单片机应用系统设计	180
9.2 MCS-51 系列单片机与 A/D		11.1 单片机应用系统设计的基本原则	180
		11.1.1 可靠性高	181
		11.1.2 操作维护方便	181

11.1.3	性价比高	181	11.3.4	系统总体调试	197
11.1.4	设计周期短	182	11.4	数码管时钟电路的设计	197
11.2	单片机应用系统的设计方法	182	11.4.1	系统总体设计	197
11.2.1	系统总体设计	182	11.4.2	系统设计原理	198
11.2.2	硬件设计	184	11.4.3	系统硬件设计	198
11.2.3	软件设计	185	11.4.4	系统软件设计	199
11.2.4	系统总体调试	187	11.5	综合实例 多功能密码锁	202
11.3	单片机控制的温度采集控制系统	192	习题 11		206
11.3.1	系统总体设计	192	附录 A	MCS-51 系列单片机指令速查表	208
11.3.2	系统硬件设计	192	参考文献		216
11.3.3	系统软件设计	194			

第1章

➡ 微型计算机基础知识



知识点

- 微型计算机中的基本概念及其基本组成；
- 单片机的应用领域；
- 数制、编码以及计算机中数据的表示方法。



难点

- 微型计算机的组成；
- 计算机中数据的表示方法及其运算过程。



要求

了解：

- 微型计算机的基本工作过程；
- 单片机系统的应用方向。

掌握：

- 微处理器、微机、微机系统的概念；
- 单片机系统的一般开发过程；
- 计算机中数据的表示方法及其运算过程。

1.1 微型计算机的组成及工作原理

微型计算机的出现是电子数字计算机广泛应用到人们日常工作、生活领域中的一个重大转折点。它已深入应用到非微型计算机所无法应用的领域,对社会产生了极大的影响。单片微型计算机是微型计算机发展中的一个重要分支,它以其独特的结构和性能,越来越普及地应用到国民经济的各个领域。

1.1.1 微型计算机中的基本概念

首先概要地介绍一下微型计算机中的几个基本概念。

1. 微处理器

微处理器(microprocessor)通常指中央处理器,简称为CPU。它由算术逻辑运算部件(ALU)、寄存器、程序计数器、控制器、内部总线等组成。它采用大规模集成电路(LSI)和超大

规模集成电路(VLSI)制作,具有体积小、功能强等特点。

典型的微处理器有 Intel 公司的 80x86 和 Pentium 系列,Zilog 公司的 Z 系列,Motorola 公司的 M6800 系列,IBM 公司的 PowerPC604 和 PC620,以及 NEC 公司的 UPD78 系列等。不同类型的 CPU 其特性不尽相同,如指令系统、运算速度、内部寄存器、存储寻址能力等,这些特性在微机应用系统设计选型中常常涉及。

2. 微型计算机

微型计算机简称微机,从名称上看就是很小的计算机。从结构上分析,以 CPU 为中心,再配置上 RAM、ROM、输入/输出接口和总线便构成了微机。微型计算机具有运算、存储和与外围设备进行数据交换等功能,还可配有适当的外围设备,如键盘、显示器等。微型计算机的这一灵活的应用特点,是目前应用最广泛的。概括地说,微型计算机可分为单片微处理机和通用微型计算机两大类。

1) 单片微处理机

单片微处理机就是把 CPU、存储器、定时器/计数器和输入/输出接口等部件都集成在一块电路芯片上,并具备一套功能完善的指令系统,有的型号的单片微处理机同时还具备数/模和模/数转换等功能部件。通常这些高性能的芯片都能应用在不同场合独立地处理程序,故简称单片机或单片处理机。

典型的单片处理机有 Intel 公司的 MCS-51、MCS-96 系列,Motorola 公司的 MC68HC11, Rockwell 公司的 65 系列等。有些高性能的单片机还支持高级语言,它们广泛应用在家用电器、智能化仪器和工业控制等领域。

2) 通用微型计算机

将不同用途的外设接口设计为独立的适配卡作为微机的接口配件,在微机内则采取总线插槽的形式,为外围设备提供总线接口。这样,在一台主机上就可以根据应用的要求,配置不同用途的外围设备。这种微机被称为通用微型计算机。目前,微型计算机以个人计算机为代表,大多采用这种形式。

3. 微型计算机系统

在通用微型计算机上配上相应的软件系统,就构成了能适应不同应用要求的微型计算机系统。由此可见,微机系统构成十分灵活,对于不同的应用场合几乎没有限制。因此,在科学计算、企业管理、家庭和娱乐等方面得到了广泛应用。

1.1.2 微型计算机基本结构

为了便于分析微型计算机的基本结构,可将一个复杂的微型计算机结构简化成一个结构模型,然后再将其扩展到实际的微型计算机结构上。

微型计算机的基本组成如图 1-1 所示,它由中央处理器(CPU)、存储器(Memory)、输入/输出接口(I/O 接口)和系统总线(BUS)构成。

1.1.3 微型计算机的基本工作过程

每种型号的 CPU 都有自己的指令系统,每条指令一般由指令操作码(规定指令的操作类型)和操作数(规定指令的操作对象)两部分组成。用户根据要完成的任务预先编好程序,再

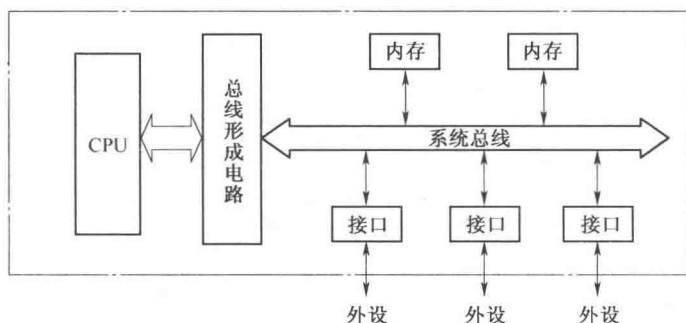


图 1-1 微型计算机的基本组成

通过输入设备(如键盘)将程序送入存储器中。微型计算机开始工作后,首先将该程序在存储器中的起始地址送入微处理器中的程序计数器(PC)中,微处理器根据PC中的地址值找到对应的存储单元,并取出存放在其中的指令操作码送入微处理器中的指令寄存器(IR)中,由指令译码器(ID)对操作码进行译码,并由微操作控制电路发出相应的微操作控制脉冲序列去取出指令的剩余部分(如果指令不止1字节的长度),同时执行指令赋予的操作功能。在取指令过程中,每取出1个单元的指令,PC自动加1,形成下一个存储单元的地址。以上为一条指令的执行过程,如此不断重复上述过程,直至执行完最后一条指令为止。

综上所述,微型计算机的基本工作过程是执行程序的过程,也就是CPU自动从程序存放的第1个存储单元起,逐步取出指令、分析指令,并根据指令规定的操作类型和操作对象,执行指令规定的相关操作。如此重复,周而复始,直至执行完程序的所有指令,从而实现程序的基本功能,这就是微型计算机的基本工作过程。

1.2 单片机的应用模式

1.2.1 单片机应用系统的结构

单片机应用系统的结构通常分为以下三个层次。

1) 单片机

单片机通常指应用系统主处理器,即所选择的单片机器件。

2) 单片机系统

单片机系统是指按照单片机的技术要求和嵌入对象的资源要求而构成的基本系统。时钟电路、复位电路和扩展存储器等与单片机共同构成了单片机系统。

3) 单片机应用系统

单片机应用系统是指能满足嵌入对象要求的全部电路系统。在单片机系统的基础上加上面向对象的接口电路,如前向通道、后向通道、人机交互通道(键盘、显示器、打印机等)和串行通信口(RS-232)以及应用程序等。

单片机应用系统三个层次的关系如图1-2所示。

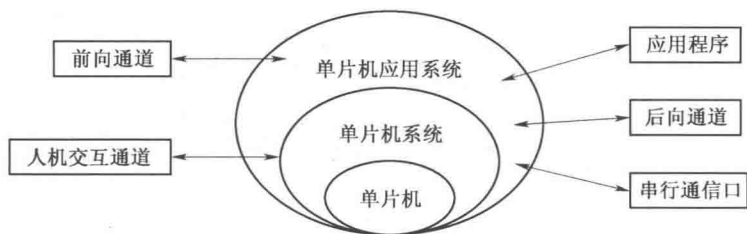


图 1-2 单片机应用系统三个层次的关系

1.2.2 单片机系统的开发过程

通常开发一个单片机系统可按以下 6 个步骤进行：

- (1) 明确系统设计任务,完成单片机及其外围电路的选型工作。
- (2) 设计系统原理图和 PCB(印制电路板),经仔细检查 PCB 后送工厂制作。
- (3) 完成器件的安装和焊接。
- (4) 根据硬件设计和系统要求编写应用程序。

(5) 在线调试软硬件,在调试中不断修改和完善软件直至系统正常工作;若在确保软件无误的情况下,系统仍无法正常运行,需根据实际情况仔细测试硬件,找出硬件错误,可用跳线方式弥补或重新制板。

(6) 使用编程器烧写单片机应用程序,独立运行单片机系统,测试系统是否正常运行,若系统运行不正常,可重新烧写单片机应用程序或更换一片新的单片机;否则,重新调试程序。

1.3 单片机的应用

单片机具有体积小、质量小、价格便宜、功耗低、控制功能强、运算速度快、控制灵活、抗干扰能力强、电源电压范围宽等特点,故在国民经济建设、军事及家用电器、自动测控系统、智能仪表、机器人等领域均得到了广泛的应用。

根据目前的情况,单片机的应用大致可分成以下几类:

1. 单片机在机、电、仪一体化等智能产品中的应用

单片机具有小巧、低功耗、控制功能强的优点,把它做到产品的内部,取代部分电子元件,可使产品体积缩小,功能增强,实现不同程度的智能化,这是其他任何计算机无法比拟的。

1) 日常生活含单片机的电器产品

电子秤、便携式心率监护仪、中频电疗仪、高级玩具、电视机、洗衣机、电冰箱、电磁炉、微波炉、空调、家用防盗报警器等产品中都有单片机的用武之地。

2) 智能化的仪器仪表

这是国内目前应用单片机最多、最活跃的领域。在各类仪器仪表中(包括温度、湿度、流量、流速、电压、频率、功率、厚度、角度、长度、硬度、元素测定等),引入单片机,使仪器仪表数字化、智能化、微型化,功能大大提高。

如精密数字温度计、湿度控制仪、智能流量监测控制仪、便携式流速仪、频率计、智能电能表、智能示波器、智能转速数字显示、黑匣子等。

2. 单片机在工业测控中的应用

单片机 I/O 线多,位指令丰富,逻辑操作能力强,特别适用于实时控制,既可作单机控制,又可作多机控制的前沿处理机,应用领域相当广泛。

如汽车工业中的应用(点火控制、反锁、牵引、转向、防盗等方面控制)、液压机的控制、报警系统中的应用、烟叶水分测量仪、水电厂单元微机监控系统、啤酒生产线、汽车生产线、集体供暖锅炉自动控制、数控机床等。

3. 单片机在通信技术中的应用

比较高档的单片机都具有通信接口,为单片机在计算机网络与通信设备中的应用创造了很好的条件。

如在通信中完成频率合成、系统监控、信道搜索及自动调谐等任务,以及用于无线遥控、调制解调器、移动电话、程控交换技术、电话自动分路器等。

1.4 数制与编码

1.4.1 数制的表示

1. 常用数制

在日常生活中,人们最熟悉的是十进制数,但在计算机中,采用二进制数“0”和“1”可以很方便地表示机内的数据与信息。在编程中,为便于阅读和书写,人们还常用八进制数或十六进制数来表示二进制数。

1) 十进制数

按进位原则进行计数的方法,称为进位计数制。十进制数有两个主要特点:

- (1) 有十个不同的数字符号:0,1,2,⋯,9;
- (2) 低位向高位进、借位的规律是“逢十进一”“借一当十”的计数原则。

例如: $1234.45 = 1 \times 10^3 + 2 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 4 \times 10^0 + 4 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}$ 。

式中的 10 称为十进制数的基数, 10^3 、 10^2 、 10^1 、 10^0 、 10^{-1} 、 10^{-2} 称为各数位的权。十进制数用 D 结尾表示。

2) 二进制数

在二进制数中只有两个不同数码:0 和 1,进位规律是“逢二进一”“借一当二”的计数原则。二进制数用 B 结尾表示。

例如,二进制数 11011011.01 可表示为

$$(11011011.01)_2 = 1 \times 2^7 + 1 \times 2^6 + 0 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$$

3) 八进制数

在八进制数中有 0,1,2,⋯,7 八个不同数码,采用“逢八进一”“借一当八”的计数原则。八进制数用 Q 结尾表示。

例如,八进制数 $(503.04)_8$ 可表示为

$$(503.04)_8 = 5 \times 8^2 + 0 \times 8^1 + 3 \times 8^0 + 0 \times 8^{-1} + 4 \times 8^{-2}$$

4) 十六进制数

在十六进制数中有 0,1,2,⋯,9,A,B,C,D,E,F 共十六个不同的数码,采用“逢十六进一”“借一当十六”的计数原则。十六进制数用 H 结尾表示。

例如,十六进制数 $(4E9.27)_{16}$ 可表示为

$$(4E9.27)_{16} = 4 \times 16^2 + 14 \times 16^1 + 9 \times 16^0 + 2 \times 16^{-1} + 7 \times 16^{-2}$$

2. 不同进制数之间的相互转换

表 1-1 列出了二、八、十、十六进制数之间的对应关系,熟记这些对应关系对后续内容的学习会有较大的帮助。

表 1-1 各种进位制的对应关系

十进制	二进制	八进制	十六进制	十进制	二进制	八进制	十六进制
0000	0000	0	0	8	1000	10	8
1	0001	1	1	9	1001	11	9
2	0010	2	2	10	1010	12	A
3	0011	3	3	11	1011	13	B
4	0100	4	4	12	1100	14	C
5	0101	5	5	13	1101	15	D
6	0110	6	6	14	1110	16	E
7	0111	7	7	15	1111	17	F

1) 二、八、十六进制数转换成为十进制数

根据各进制的定义表示方式,按权展开相加,即可转换为十进制数。

【例 1-1】 将 10101B,72Q,49H 转换为十进制数。

$$10101B = 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 37$$

$$72Q = 7 \times 8^1 + 2 \times 8^0 = 58$$

$$49H = 4 \times 16^1 + 9 \times 16^0 = 73$$

2) 十进制数转换为二进制数

十进制数转换为二进制数,需要将整数部分和小数部分分开,采用不同方法进行转换,然后用小数点将这两部分连接起来。

(1) 整数部分:除 2 取余法。

具体方法是:将要转换的十进制数除以 2,取余数;再用商除以 2,再取余数,直到商等于 0 为止;将每次得到的余数按倒序的方法排列起来作为结果。

【例 1-2】 将十进制数 25 转换成二进制数。

解

2	25	余数	
2	12	1	最低位
2	6	0	
2	3	0	
2	1	1	
	0	1	最高位

所以 $25D = 11001B$ 。

(2) 小数部分: 乘 2 取整法。

具体方法是: 将十进制小数不断地乘 2, 直到积的小数部分为零(或直到所要求的位数)为止, 每次乘得的整数依次排列即为相应进制的数码。最初得到的为最高有效数位, 最后得到的为最低有效数位。

【例 1-3】 将十进制数 0.625 转换成二进制数。

解

0.625	
$\times 2$	
1.250	
$\times 2$	1 最高位
0.5	
$\times 2$	0
1.0	1 最低位

所以 $0.625D = 0.101B$ 。

将十进制数 25.625 转换成二进制数。只要将例 1-2 和例 1-3 整数和小数部分组合在一起即可, 即 $25.625D = 11001.101B$ 。

【例 1-4】 将十进制 193.12 转换成八进制数。

解

8	193	余数		0.12	
8	24	1	最低位	$\times 8$	取整
8	3	0		0.96	0 最高位
	0	3	最高位	$\times 8$	
				7.68	7
				$\times 8$	
				5.44	5 最低位

所以 $193.12D \approx 301.075Q$ 。

3) 二进制与八进制之间的相互转换

由于 $2^3 = 8$, 故可采用“合三为一”的原则, 即从小数点开始向左、右两边各以 3 位为 1 组进行二-八进制转换; 若不足 3 位的以 0 补足, 便可以将二进制数转换为八进制数。反之, 每位八进制数用 3 位二进制数表示, 就可将八进制数转换为二进制数。

【例 1-5】 将 10100101.01011101B 转换为八进制数。

解

010	100	101	.	010	111	010
2	4	5	.	2	7	2

所以 $10100101.01011101B = 245.272Q$ 。

【例 1-6】 将 756.34Q 转换为二进制数。

解

$$\begin{array}{ccccccccc} & 7 & & 5 & & 6 & & . & & 3 & & 4 \\ & 111 & & 101 & & 110 & & . & & 011 & & 100 \end{array}$$

所以 756.34Q=111101110.0111B。

4) 二进制与十六进制之间的相互转换

由于 $2^4=16$,故可采用“合四为一”的原则,即从小数点开始向左、右两边各以 4 位为 1 组进行二-十六进制转换;若不足 4 位的以 0 补足,便可以将二进制数转换为十六进制数。反之,每位十六进制数用 4 位二进制数表示,就可将十六进制数转换为二进制数。

【例 1-7】 将 111111000111.100101011B 转换为十六进制数。

解

$$\begin{array}{ccccccccccc} & 0001 & & 1111 & & 1100 & & 0111 & & . & & 1001 & & 0101 & & 1000 \\ & 1 & & F & & C & & 7 & & . & & 9 & & 5 & & 8 \end{array}$$

所以 111111000111.100101011B =1FC7.958H。

【例 1-8】 将 79BD.6CH 转换为二进制数。

解

$$\begin{array}{ccccccccc} & 7 & & 9 & & B & & D & & . & & 6 & & C \\ & 0111 & & 1001 & & 1011 & & 1101 & & . & & 0110 & & 1100 \end{array}$$

所以 79BD.6CH=111100110111101.011011B。

1.4.2 常用的信息编码

1. 二-十进制 BCD 码

二-十进制 BCD 码(binary-coded decimal)是指每位十进制数用 4 位二进制数编码表示。由于 4 位二进制数可以表示 16 种状态,可丢弃最后 6 种状态,而选用 0000~1001 来表示 0~9 十个数符。这种编码又称 8421 码。十进制数与 BCD 码的对应关系见表 1-2。

表 1-2 十进制数与 BCD 码的对应关系

十进制数	BCD 码	十进制数	BCD 码
0	0000	10	00010000
1	0001	11	00010001
2	0010	12	00010010
3	0011	13	00010011
4	0100	14	00010100
5	0101	15	00010101
6	0110	16	00010110
7	0111	17	00010111
8	1000	18	00011000
9	1001	19	00011001