




# 单片机 轻松入门

周 坚 编著



 北京航空航天大学出版社  
<http://www.buaapress.com.cn>

# 单片机轻松入门

周 坚 编著

北京航空航天大学出版社

<http://www.buaapress.com.cn>

## 内 容 简 介

以 80C51 系列单片机为主体,详细介绍了单片机的工作原理和应用方面的知识,内容包括单片机结构、指令系统以及典型接口器件等。

作者为本书的写作开发了实验仿真板;设计了实验电路板;以动画形式记录了多个使用实验仿真板进行实验的过程及现象。本书融进了作者多年教学、科研实践所获取的经验及实例,是作者在对单片机课程进行教学改革的基础上编写而成,摒弃了以学科体系为主线的编排方式,而采用以读者的认知规律为主线的编排方式。

随书光盘提供了作者所设计的实验仿真板、实验电路板的原理图和印刷线路板图、书中所有的例子、一些常用工具软件、作者自编软件、实验过程及现象的动画等。读者获得的不仅是一本文字教材,更是一个完整的学习环境。

本书可作为中等专业技术学校、中等职业学校、电视大学等的教学用书,也是业余电子爱好者或 PC 机编程爱好者自学单片机很好的教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

单片机轻松入门/周坚编著. —北京:北京航空航天大学出版社,2004.2

ISBN 7-81077-410-7

I. 单… II. 周… III. 单片微型计算机—基本知识 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 124373 号

## 单片机轻松入门

周 坚 编著

责任编辑 崔肖娜 王鑫光

\*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

<http://www.buaapress.com.cn>

E-mail: [bhpress@263.net](mailto:bhpress@263.net)

北京市松源印刷有限公司印装 各地书店经销

\*

开本:787×1092 1/16 印张:16.5 字数:422 千字

2004 年 2 月第 1 版 2004 年 2 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 7-81077-410-7

定价:28.00 元(含光盘)

# 前 言

以 80C51 为内核的系列单片机在我国已应用多年,80C51 系列单片机教材数不胜数,本书则是一本引导初学者轻松入门的教材。

本书融进了作者多年教学、科研实践所获取的经验及实例,更是在作者对单片机课程进行教学改革的基础上编写的,由一些较新的教学理论作为指导,编排方式与传统的教材不完全相同,主要采用“以任务为中心”的教学模式来编排。作者在课堂教学过程中,改革了原有的授课模式,如在讲解“单片机的结构与原理”这部分知识时,安排了 5 个任务,以任务为核心,配置了为完成该任务而必须掌握的指令、硬件结构知识、软件操作知识等;学完这些知识以后完成该任务,然后较为系统地学习一些硬件结构知识。通过这种方式将学生普遍感到比较困难的该部分知识分解,把一个高的台阶变成若干低的台阶,使得学习者从一开始就能体会到成功的喜悦,有利于学习的顺利进行。在讲授其它部分的内容时,也打破了学科体系的束缚,以学习者的实际需求为目标,如授课时将定时/计数器、中断、串行接口部分知识安排在指令部分之前;但教学中并没有因为指令部分未学而不举例,而是直接将指令拿来使用。在教学实践中也可以看到,学习者并没有因为尚未学“指令”这一概念而无法掌握这些指令的用法。单片机的指令部分内容枯燥乏味又较抽象,是教学中的另一个难点;但按这种教学方法,在学习指令部分的知识之前,学习者已掌握多条指令的用法,加之通过前面内容的学习,有很多知识可用以对指令中的一些抽象概念作出解释,因而学得较轻松。

## 内容安排

在本书内容取舍方面,着重从中等职业学校、中等技术学校以及业余电子爱好者的实际出发,适当增加常用计算机基础知识,内容力求深入浅出,尽量结合实例说明问题。

第 1 章介绍单片机的基本知识、计算机中数据的表示方法、计算机中常用的基本术语、存储器的工作原理及分类。

第 2 章是本书的重点,首先在 2.1 节中介绍 Keil 软件的使用、实验仿真板的使用。然后以 5 个待完成的任务为中心,介绍相关的单片机结构与原理、单片机的指令,并且应用 Keil 软件、实验仿真板来完成这些任务。一些不便集成到任务中的知识则分散在各任务之间介绍。最后在 2.11 节介绍实验电路板的制作和编程器的知识,建立一个硬件实验环境。学完本章,实际已实现初步入门,可以做一些简单的模仿性的开发、编程工作。

第 3 章介绍定时/计数器、中断系统、串行接口等单片机内部常用的“外围”电路。本章内容的安排不受学科体系的束缚,视每一部分为待完成的任务,以此配置知识点。学习本部分知识时,指令部分的知识尚未学习,但在本章的举例时用了多条指令。书中对这些指令的用法作了详细介绍,读者不必拘泥于指令的概念,应着重掌握这些指令的用法。

第 4 章介绍 80C51 的指令系统,汇编语言程序设计。由于这一部分的内容相对较为枯燥、抽象,因此学习起来比较乏味,通常这是单片机学习中的一个难点。为此,本书将这部分知

识安排在第 2、3 章以后。读者在学习本章内容时,注意结合第 2、3 章有关知识来学习。

第 5 章是接口技术的介绍,主要介绍键盘、显示器、D/A 转换器、A/D 转换器、具有 I<sup>2</sup>C 总线接口的 AT24C××系列芯片、具有 SPI 总线接口的 X5045 芯片、字符型液晶显示器等接口知识。单片机应用面极广,所涉及的接口技术也非常多,一本书中难以全面介绍,因此本章内容以实用为主,介绍单片机开发中典型、常用的接口技术以及目前较为流行的接口技术。虽难免挂一漏万,但读者在掌握了这些知识后,就可以开始做一些实际的项目开发工作,并在开发中继续学习。

第 6 章引导读者从入门到开发。本章首先用实验电路板设计若干个简单但比较全面的程序,读者可以利用它们来做一些比较完整的“产品”;然后就某一个项目展开讨论,介绍这个项目开发的全部过程,并提供原理图、源程序等材料,为读者提供一个范例,以了解项目开发的过程。

附录 A 介绍一块强电接口板,可与 2.11 节介绍的单片机实验板配合使用,控制较大功率电器,如制作成真正的流水灯等。

附录 B 为单片机常见问题问答,这是从与作者通信的上千封电子邮件中精选出来的,其问题由学习者提出而非作者凭空想出来的,它真实地反映了各层次的学生在学习单片机时遇到的问题。

附录 C 介绍作者应用单片机实验仿真板进行教学的探索过程,给出一种单片机教学、实习的新思路。

附录 D 则给出了让读者在入门的基础上进一步提高的方案。

附录 E 为本书所附光盘内容简介。

## 本书特点

作者为本书的写作开发了实验仿真板,设计了实验电路板。随书光盘提供了作者所设计的实验仿真板、实验电路板的原理图和印刷线路板图、书中所有的例子、一些常用工具软件、作者自编软件、记录使用实验仿真板实验过程的动画等。读者获得的不仅是一本文字教材,更是一个完整的学习环境。

单片机是一门实践性很强的学科,必须通过较多的实践操作才能学好这门课程。由于本书面向对象之一是业余电子爱好者,同时考虑到中等技术学校、职业中学的实际情况,所以在安排有关实践内容时,不假设读者是能够随时在实验室中,身边随时有老师教,而是立足于自力更生。书中不仅使用文字对有关实验内容进行细致的分析,而且在附带的光盘上还大量应用动画形式提供实验效果以供参考,对于部分内容还提供完整操作过程的动画记录,保证读者可以无师自通。

本书安排的例子大部分是由作者编写的,有一些是参考相关资料改写的,全部程序都由作者调试并通过。对于例子的使用说明也尽量详细,力争让读者“看则能用,用则能成”,保证读者在动手的过程中常常体会到成功的乐趣,而不是常常遇到挫折。

## 致 谢

马四锋先生提供了其设计的 ispro 下载型编程器,并授权将其 PC 端软件收入光盘;龚建伟先生提供了其设计的串口助手软件,并授权收入光盘;华旭东、夏爱联、吕向阳、史建福等参

与了部分硬件电路的设计、制作及调试工作；卢忠涛、张庆明等参与了部分程序的调试；陈素娣参与了本书的多媒体制作、插图绘制、文字输入及排版等工作，在此表示由衷的感谢。

本书作者在提供文字教材的同时也通过网络为广大读者提供服务，欢迎读者与我探讨。

网站：平凡单片机工作室(<http://www.mcustudio.com>)；

单片机技术与教学 BBS(<http://bbs.mcustudio.com>)。

由于教学改革采用了较新的教学理论作为指导，可能尚未完全成熟，加之作者水平有限，书中错误与不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

周 坚

2003年8月

# 目 录

## 第 1 章 概 述

1.1 单片机的发展 .....	(1)
1.1.1 单片机名称的由来 .....	(1)
1.1.2 单片机技术的发展历史 .....	(1)
1.2 学习单片机的准备 .....	(2)
1.2.1 硬件准备 .....	(3)
1.2.2 软件准备 .....	(3)
1.3 计算机数据表示 .....	(3)
1.3.1 常用的进位计数制 .....	(3)
1.3.2 二进制的算术运算 .....	(5)
1.3.3 数制间的转换 .....	(5)
1.3.4 数的表示方法及常用计数制的对应关系 .....	(6)
1.3.5 逻辑数据的表示 .....	(7)
1.4 计算机中常用的基本术语 .....	(8)
1.5 存储器 .....	(9)
1.5.1 存储器的工作原理 .....	(9)
1.5.2 半导体存储器的分类 .....	(10)
思考题与习题 .....	(12)

## 第 2 章 一步一步学单片机

2.1 软件实验环境的建立 .....	(13)
2.1.1 Keil 软件简介、安装与使用 .....	(13)
2.1.2 实验仿真板简介、安装与使用 .....	(22)
2.2 用单片机控制 LED .....	(25)
2.2.1 实例分析 .....	(26)
2.2.2 用实验仿真板来实现 .....	(27)
2.2.3 单片机的工作过程 .....	(29)
2.3 单片机控制单个 LED 闪烁发光 .....	(29)
2.3.1 实例分析 .....	(29)
2.3.2 用实验仿真板来实现 .....	(31)
2.3.3 单片机的片内 RAM 与工作寄存器 .....	(31)
2.3.4 延时程序分析 .....	(34)
2.3.5 延时时间的计算 .....	(34)

2.4	单片机的复位电路	(36)
2.5	省电工作方式	(37)
2.6	单片机控制 8 个 LED 闪烁发光	(38)
2.6.1	实例分析	(38)
2.6.2	用实验仿真板来实现	(39)
2.7	用按钮控制 LED	(39)
2.7.1	实例分析	(39)
2.7.2	用实验仿真板来实现	(40)
2.8	并行 I/O 口	(41)
2.8.1	并行 I/O 口的功能	(41)
2.8.2	并行 I/O 口的结构分析	(41)
2.8.3	I/O 口的输入功能分析	(42)
2.9	用单片机实现流水灯	(45)
2.9.1	实例分析	(45)
2.9.2	用实验仿真板来实现	(45)
2.10	单片机内部结构分析	(46)
2.10.1	80C51 CPU 的内部结构与功能	(47)
2.10.2	控制器	(49)
2.11	硬件实验环境的建立	(50)
2.11.1	实验板原理	(50)
2.11.2	实验电路板的制作	(51)
2.11.3	编程器的使用	(53)
	思考题与习题	(55)

### 第 3 章 定时/计数器、中断和串行接口

3.1	定时/计数的基本概念	(56)
3.2	单片机的定时/计数器	(57)
3.2.1	定时/计数器的基本结构及工作原理	(57)
3.2.2	定时/计数器的控制字	(58)
3.2.3	定时/计数器的 4 种工作方式	(60)
3.2.4	定时/计数器中定时/计数初值的计算	(62)
3.3	中断系统	(63)
3.3.1	中断概述	(63)
3.3.2	中断系统的结构	(64)
3.3.3	中断控制	(66)
3.3.4	中断响应过程	(67)
3.3.5	中断应用实例	(69)
3.4	定时/计数器的应用	(70)
3.4.1	定时器的应用	(70)



3.4.2 计数器的应用	(74)
3.5 串行通信	(76)
3.5.1 串行通信概述	(76)
3.5.2 单片机的串行接口	(78)
3.5.3 串行口工作方式	(80)
3.5.4 串行口应用编程	(83)
思考题与习题	(88)

## 第4章 指令系统

4.1 概 述	(89)
4.1.1 有关指令与程序的基本概念	(89)
4.1.2 汇编语言格式	(90)
4.2 指令的寻址方式	(91)
4.2.1 寻址的概念	(91)
4.2.2 寻址方式	(92)
4.2.3 指令中的操作数标记	(94)
4.3 数据传送类指令及练习	(94)
4.3.1 数据传送类指令	(94)
4.3.2 用仿真软件进行指令练习	(99)
4.4 算术运算类指令	(102)
4.5 逻辑运算类指令	(105)
4.6 控制转移类指令	(108)
4.7 位操作类指令	(113)
4.8 程序设计实例	(116)
思考题与习题	(122)

## 第5章 接口技术

5.1 LED显示器的接口	(125)
5.1.1 8段LED显示器的结构	(125)
5.1.2 LED显示器的接口电路	(127)
5.2 键盘接口	(133)
5.2.1 键盘工作原理	(134)
5.2.2 键盘与单片机的连接	(135)
5.3 I <sup>2</sup> C总线接口	(141)
5.3.1 I <sup>2</sup> C总线简介	(141)
5.3.2 AT24C系列EEPROM的结构及特性	(141)
5.3.3 AT24C系列EEPROM的使用	(143)
5.4 SPI总线接口	(147)
5.4.1 SPI串行总线简介	(147)

5.4.2	X5045 的结构与特性 .....	(147)
5.4.3	X5045 的使用 .....	(150)
5.5	A/D 转换接口 .....	(155)
5.5.1	A/D 转换的基本知识 .....	(155)
5.5.2	典型 A/D 转换器的使用 .....	(156)
5.6	D/A 转换接口 .....	(158)
5.6.1	D/A 转换器的工作原理 .....	(158)
5.6.2	典型 D/A 转换器的使用 .....	(159)
5.7	字符型液晶显示器接口 .....	(161)
5.7.1	字符型液晶显示器的基本知识 .....	(161)
5.7.2	字符型液晶显示器的使用 .....	(162)
	思考题与习题 .....	(167)

## 第 6 章 应用设计举例

6.1	秒表 .....	(169)
6.2	可预置倒计时时钟 .....	(173)
6.3	AT24C01A 的综合应用 .....	(179)
6.3.1	功能描述 .....	(179)
6.3.2	实例分析 .....	(179)
6.3.3	实例应用 .....	(185)
6.4	X5045 的综合应用 .....	(185)
6.4.1	实例功能 .....	(185)
6.4.2	实例分析 .....	(186)
6.4.3	实例应用 .....	(192)
6.5	发动机传感器控制仪的研制 .....	(193)
6.5.1	开发背景 .....	(193)
6.5.2	系统分析与设计 .....	(193)
6.5.3	使用说明 .....	(197)
6.5.4	程序清单及分析 .....	(199)
6.6	综合练习 .....	(212)
	思考题与习题 .....	(213)

## 附录 A 实战——接真正的灯

A.1	工作原理 .....	(214)
A.2	元器件的选择 .....	(217)
A.3	安装及调试 .....	(217)

## 附录 B 单片机常见问题问与答

**附录 C 利用实验仿真板进行单片机教学的探讨**

C.1 问题的提出 .....	(229)
C.2 解决方案 .....	(230)
C.3 教学实例 .....	(231)
C.4 一些问题的说明 .....	(234)

**附录 D 进阶与提高**

D.1 DPJ8 实验仿真板的使用 .....	(235)
D.2 进阶型实验电路板 .....	(236)
D.2.1 简介 .....	(236)
D.2.2 硬件结构 .....	(237)
D.2.3 使用简介 .....	(239)
D.2.4 仿真功能的使用 .....	(241)
D.3 性价比较高的两款开发工具 .....	(244)
D.3.1 基于 Keil Monitor - 51 Drivr 的仿真器 .....	(245)
D.3.2 下载型编程器 .....	(245)

**附录 E 配套光盘使用说明**

E.1 文件夹内容说明 .....	(248)
E.2 使用 .....	(248)
<b>参 考 文 献</b> .....	(252)

# 第 1 章 概 述

计算机是应数值计算要求而诞生的。在相当长的时期内,计算机技术都是以满足越来越多的计算量为目标来发展的;但是随着单片机的出现,它使计算机从海量数值计算进入到智能化控制领域,从此,计算机就开始了沿着通用计算机领域和嵌入式领域两条不同的道路发展。

## 1.1 单片机的的发展

单片机自问世以来,以其极高的性能价格比越来越受到人们的重视和关注。目前,单片机被广泛地应用于智能仪表、机电设备、过程控制、数据处理、自动检测和家用电器等方面。

### 1.1.1 单片机名称的由来

无论规模大小、性能高低,计算机的硬件系统都是由运算器、存储器、输入设备、输出设备以及控制器等单元组成。在通用计算机中,这些单元被分成若干块独立的芯片,通过电路连接而购成一台完整的计算机。而单片机技术则将这些单元全部集成到一块集成电路中,即一块芯片就构成了一个完整的计算机系统。这成为当时这一类芯片的典型特征,因此,就以 Single Chip Microcomputer 来称呼这一类芯片,中文译为“单片机”,这在当时是一个准确的表达。但随着单片机技术的不断发展,“单片机”已无法确切地表达其内涵,国际上逐渐采用 MCU (MicroController Unit)来称呼这一类计算机,并成为单片机界公认的、最终统一的名词。但国内由于多年来一直使用“单片机”的称呼,已约定俗成,所以目前仍采用“单片机”这一名词。

### 1.1.2 单片机技术的发展历史

20 世纪 70 年代,美国仙童公司首先推出了第一款单片机 F-8,随后 Intel 公司推出了 MCS-48 单片机系列,其它一些公司如 Motorola、Zilog 等也先后推出了自己的单片机,取得了一定的成果,这是单片机的起步与探索阶段。总的来说,这一阶段的单片机性能较弱,属于低、中档产品。

随着集成技术的提高以及 CMOS 技术的发展,单片机的性能也随之改善,高性能的 8 位单片机相继问世。1980 年 Intel 公司推出了 8 位高档 MCS-51 系列单片机,性能得到很大的提高,应用领域也大为扩展。这是单片机的完善阶段。

1983 年 Intel 公司推出了 16 位 MCS-96 系列单片机,加入了更多的外围接口,如模/数转换器(ADC)、看门狗(WDT)、脉宽调制器(PWM)等,其它一些公司也相继推出了各自的高性能单片机系统。随后许多用在高端单片机上的技术被下移到 8 位单片机上,这些单片机内部一般都有非常丰富的外围接口,强化了智能控制器的特征,这是 8 位单片机与 16 位单片机的推出阶段。

近年来,Intel、Motorola 等公司又先后推出了性能更为优越的 32 位单片机,单片机的应

用达到了一个更新的层次。

随着科学技术的进步,早期的 8 位中、低档单片机逐渐被淘汰。但 8 位单片机并没有消失,尤其是以 80C51 为内核的单片机,不仅没有消失,还呈现快速发展的趋势。

目前单片机的发展有这样的一些特点:

**CMOS 化** 由于 CMOS 技术的进步,大大地促进了单片机的 CMOS 化。CMOS 芯片除具有低功耗特性之外,还具有功耗的可控性,使单片机可以工作在功耗精细管理状态下。

**低电压、低功耗化** 单片机允许使用的电压范围越来越宽,一般在 3~6 V 范围内工作,低电压供电的单片机电源下限可达 1~2 V,1 V 以下供电的单片机也已问世。单片机的功耗已从 mA 级降到  $\mu\text{A}$  级,甚至 1  $\mu\text{A}$  以下。低功耗化的效应不仅是功耗低,而且还带来了产品的高可靠性、高抗干扰能力以及产品的便携化。

**大容量化** 随着单片机控制范围的增加,控制功能的日渐复杂,高级语言的广泛应用,对单片机的存储器容量提出了更高的要求。目前,51 系列单片机内 ROM 最大可达 64 KB, RAM 可达 2 KB。

**高性能化** 通过进一步改善 CPU 的性能,加快指令运算速度和提高系统控制的可靠性。采用精简指令集(RISC)结构和流水线技术,可以大幅度提高运行速度。现指令速度高者已达 100 MIPS(Million Instructions Per Second,即兆指令每秒)。

**小容量、低价格化** 以 4 位、8 位机为中心的小容量、低价格化是单片机的另一发展方向。这类单片机的用途是把以往用数字逻辑集成电路组成的控制电路单片化,可广泛用于家电产品中。

**串行扩展技术** 在很长一段时间里,通用型单片机通过三总线结构扩展外围器件成为单片机应用的主流结构。随着低价位 OTP 及各种类型片内程序存储器技术的发展,加之外围接口不断进入片内,推动了单片机“单片”应用结构的发展。特别是 I<sup>2</sup>C、SPI 等串行总线的引入,可以使单片机的引脚设计得更少,单片机系统结构更加简化及规范化。

在单片机家庭中,80C51 系列是其中的佼佼者。Intel 公司将其 MCS-51 系列单片机中的 8051 内核以出售或互换专利的方式授权给了很多其它公司,如 Philips、NEC、Atmel 等,因此,有很多公司在生产以 8051 为内核的单片机。这些公司在保持与 8051 单片机兼容的基础上,改善了 8051 单片机的许多特性。这样,8051 就成为有众多制造厂商支持的、在 CMOS 工艺基础上发展出上百品种的大家族,现统称为 80C51 系列。

这一系列单片机包括了很多种,其中 89C51 单片机是近年来在我国非常流行的,它由美国 ATMEL 公司开发生产,最大的特点是内部有可以多次重复编程的 Flash ROM,并且 Flash ROM 可以直接用编程器来擦写(电擦写),使用方便。

## 1.2 学习单片机的准备

在学习单片机之前,首先要做好一些软、硬件准备工作,有一个好的学习环境才能有比较大的收获。现在单片机的开发工作一般离不开计算机,所以这里假定读者手边都有计算机可供使用。

### 1.2.1 硬件准备

需要准备的硬件如下：可对 89C51 单片机芯片编程的编程器一个，用于硬件实验的实验板一块。如果有条件，还可以再准备一台仿真器，它会给你的学习带来很大的方便。

编程器和仿真器有很多种类可供选择。编程器的价格从数百元到数千元不等，仿真器的品种也很多，价格从千元以下的入门级产品一直到数千元甚至上万元的高档产品均有销售，可以根据自身的经济条件选择。

本书的配套光盘中提供了一个实验板电路图和印刷电路板图文件。实验板上装有 9 个发光二极管、4 个按钮和 2 位数码管，具有 I<sup>2</sup>C 总线接口的 AT24CXX 系列串行 EEPROM，X5045（开机复位、电压跌落检测、看门狗、SPI 接口的串行 EEPROM 4 种功能集于一体的）芯片，RS232 串行接口芯片（可与微机通信）。整个实验板制作成本不高，却包含了现在最流行的一些芯片的用法。书中安排的多个与硬件有关的实验，都可以在这块实验板上完成。

### 1.2.2 软件准备

软件使用目前最流行的 Keil 软件。Keil 主要提供 C 编译环境，但其中所带的汇编器和连接器完全可用于汇编语言的学习。Keil 是商业软件，它同时也提供供学习者使用的 Eval 版本。该版本的功能与正式版本一样，但有一定的限制，最终生成的代码不能超过 2 KB，但用于学习已足够了。读者可以到 <http://www.keil.com> 去下载 Keil 的最新版本软件。该软件带有一个集成开发环境（ $\mu$  Vision2），可以在这一集成开发环境中编译、连接和调试。该集成开发环境提供了一些软件仿真的手段，如模拟 I/O 口输入，观察 I/O 口输出，对串行口进行调试等，功能强大，可以在一定程度上替代仿真器使用。

## 1.3 计算机数据表示

计算机用于处理各种信息，首先需要将信息表示成具体的数据形式。选择什么样的数制来表示数，对机器的结构、性能和效率有很大的影响。二进制是计算机中数制的基础。

所谓二进制形式，是指每位数码只取二个值，要么是“0”，要么是“1”，数码最大值只能是 1，超过 1 就应向高位进位。为什么要采用二进制形式呢？这是因为二进制最简单，它仅有二个数字符号，这就特别适合用电子元器件来表示。制造有两个稳定状态的元器件一般比制造具有多个稳定状态的元器件要容易得多。

计算机内部采用二进制表示各种数据，对于单片机而言，其主要的数据类型分为数值数据和逻辑数据两种。下面分别介绍数制概念和各种数据的机内表示、运算等知识。

按进位的原则进行计数，称为进位计数制，简称“数制”。数制有多种，在计算机中常使用的有十进制、二进制和十六进制。

### 1.3.1 常用的进位计数制

#### 1. 十进制数

按“逢十进一”的原则进行计数，称为十进制数。十进制的基为“十”，即它所使用的数码为 0~9，共 10 个数字。十进制各位的权是以 10 为底的幂。每个数所处的位置不同，它的值是不

同的, 每一位数是其右边相邻那位数的 10 倍。

对于任意一个十进制数, 都可以写成如下形式:

$$D_3 D_2 D_1 D_0 = D_3 \times 10^3 + D_2 \times 10^2 + D_1 \times 10^1 + D_0 \times 10^0$$

上述式子从右至左各位的权分别是个、十、百和千, 即以 10 为底的 0 次幂、1 次幂、2 次幂和 3 次幂, 通常简称为 0 权位、1 权位、2 权位和 3 权位等。上式称为按权展开式。

例:  $3525 = 3 \times 10^3 + 5 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 5 \times 10^0$

## 2. 二进制数

按“逢二进一”的原则进行计数, 称为二进制数。二进制的基为“二”, 即它使用的数码为 0、1, 共 2 个。二进制各位的权是以 2 为底的幂。任意一个 4 位二进制数按权展开式如下:

$$B_3 B_2 B_1 B_0 = B_3 \times 2^3 + B_2 \times 2^2 + B_1 \times 2^1 + B_0 \times 2^0$$

由此可知, 4 位二进制中各位的权是:

$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$
8	4	2	1

例:  $(1011)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 11$

## 3. 十六进制数

按“逢十六进一”的原则进行计数, 称为十六进制数。十六进制的基为“十六”, 即它使用的数码共有 16 个: 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E 和 F。其中 A、B、C、D、E 和 F 所代表的数的大小相当于十进制的 10、11、12、13、14 和 15。十六进制的权是以 16 为底的幂。任意一个 4 位十六进制数的按权展开式如下:

$$H_3 H_2 H_1 H_0 = H_3 \times 16^3 + H_2 \times 16^2 + H_1 \times 16^1 + H_0 \times 16^0$$

例:  $(17F)_{16} = 1 \times 16^2 + 7 \times 16^1 + 15 \times 16^0 = 383$

由于十六进制数易于书写和记忆, 且与二进制之间的转换十分方便, 因而人们在编写程序时多用十六进制。

## 4. 二—十进制编码

计算机中使用的是二进制数, 但人们却习惯于使用十进制数, 为此需要建立一个二进制数与十进制数联系的桥梁, 这就是二—十进制。

在二—十进制中, 十进制的 10 个基数符 0~9 用二进制码表示, 而计数方法仍采用十进制, 即“逢十进一”。为了要表示 10 种状态, 必须要用 4 位二进制数 (3 位只能表示 0~7, 不够用)。4 位二进制一共有 16 种状态, 可以取其中的任意 10 个来组成数符 0~9。显然, 最自然的方法就是取前 10 种状态, 这就是 BCD 码, 也称之为 8—4—2—1 码, 因为这种码的 4 个位置的 1 分别代表了 8、4、2 和 1。

学习 BCD 码一定要注意区分它与二进制的区别。表 1-1 中列出了几个数作为比较。

从表 1-1 中不难看出, 对于小于 10 的数来说, BCD 码与二进制码没有什么区别; 但对于大于 10 的数, BCD 码与二进制码就不一样了。

表 1-1 二进制、十进制、十六进制数、BCD 码的对应关系

十进制数	十六进制	二进制	BCD 码	十进制数	十六进制	二进制	BCD 码
0	0	00000000	00000000	10	A	00001010	00010000
1	1	00000001	00000001	11	B	00001011	00010001
2	2	00000010	00000010	12	C	00001100	00010010
3	3	00000011	00000011	15	F	00001111	00010101
4	4	00000100	00000100	100	64	10000000	10000000

### 1.3.2 二进制的算术运算

二进制算术运算的规则非常简单,这里介绍常用的加法和乘法规则。

加法规则

$$0 + 0 = 0$$

$$0 + 1 = 1$$

$$1 + 0 = 1$$

$$1 + 1 = 10$$

乘法规则

$$0 \times 0 = 0$$

$$0 \times 1 = 0$$

$$1 \times 0 = 0$$

$$1 \times 1 = 1$$

例: 求  $11011+1101$  的值。

$$\begin{array}{r} 11011 \\ + 1101 \\ \hline 101000 \end{array}$$

例: 求  $11011 \times 101$  的值。

$$\begin{array}{r} 11011 \\ \times 101 \\ \hline 11011 \\ 00000 \\ 11011 \\ \hline 10000111 \end{array}$$

### 1.3.3 数制间的转换

将一个数由一种数制转换成另一种数制称之为数制间的转换。

#### 1. 十进制数转换为二进制数

十进制转换为二进制采用“除二取余法”,即把待转换的十进制不断地用 2 除,一直到商是 0 为止,然后将所得的余数由下而上排列即可。

例: 把十进制数 13 转换为二进制数。



$$\begin{array}{r}
 2 \overline{) 13} \dots\dots\dots 1 \text{ 低位} \\
 2 \overline{) 6} \dots\dots\dots 0 \quad \uparrow \\
 2 \overline{) 3} \dots\dots\dots 1 \\
 2 \overline{) 1} \dots\dots\dots 1 \text{ 高位} \\
 \hline
 0
 \end{array}$$

结果是十进制数 13 等于二进制数  $(1101)_2$ 。

## 2. 二进制数转换为十进制数

二进制数转换为十进制数采用“位权法”，即把各非十进制数按权展开，然后求和。

例：把  $(1110110)_2$  转换为十进制数。

$$(1110110)_2 = 1 \times 2^6 + 1 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = 118$$

## 3. 二进制数转换为十六进制数

十六进制也是一种常用的数制。将二进制数转换为十六进制数的规则是“从右向左，每 4 位二进制数转换为 1 位十六进制数，不足部分用 0 补齐”。

例：将  $(1110000110110001111)_2$  转换为十六进制数。

把  $(1110000110110001111)_2$  写成下面的形式：

$$0111 \ 0000 \ 1101 \ 1000 \ 1111$$

因此

$$(1110000110110001111)_2 = (70D8F)_{16}$$

## 4. 十六进制数转换为二进制数

十六进制数转换为二进制数的方法正好与上面的方法相反，即 1 位十六进制数化为 4 位二进制数。

例：将  $(145A)_{16}$  转换为二进制数。

将每位十六进制数写成 4 位二进制数，即

$$0001 \ 0100 \ 0101 \ 1010$$

即十六进制数  $(145A)_{16}$  等于二进制数  $(1010001011010)_2$ 。

### 1.3.4 数的表示方法及常用计数制的对应关系

#### 1. 数的表示方法

为了便于书写，特别是方便编程时书写，规定在数字后面加一个字母以示区别。二进制后加 B，十六进制后加 H，十进制后面加 D，并规定 D 可以省略。这样 102 是指十进制的 102，102H 是指十六进制的 102，也就是 258。同样 1101 是十进制 1101，而 1101B 则是指二进制的 1101，即 13。

#### 2. 常用计数制的对应关系

表 1-2 列出了常用数值 0~15 的各种数制间的对应关系，这在以后的学习中经常用到，要求能够熟练掌握。