

“十一五” 高职高专规划教材

# 单片机项目教程

本书配套教学课件

周 坚 编著

项目引领  
任务驱动



 北京航空航天大学出版社

“十一五”高职高专规划教材

# 单片机项目教程

周 坚 编著

北京航空航天大学出版社

## 内 容 简 介

以 80C51 系列单片机为主,详细介绍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、典型接口器件等。

本书融进了作者多年教学、科研实践所获得的经验及实例,是在作者对单片机课程进行教学改革的基础上编写而成。在编排方法上,采用了“项目引领,任务驱动”的教学模式,视各章为一个项目,每个项目又由多个任务组成。读者通过完成各个任务而掌握本章的所有知识。全书以读者的认知规律为主线,充分体现了以人为本的指导思想。

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做实验的过程及现象。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电路板图、书中所有例子、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。

本书可作为高等职业技术学院、中等职业学校、广播电视大学等的教学用书,也是电子爱好者自学单片机很好的教材。

除了本书之外,作者有成熟的教学方法可以交流,并可提供与之配套的实验器材,从而构成单片机教学的完整解决方案。

### 图书在版编目(CIP)数据

单片机项目教程/周坚编著. —北京:北京航空航天大学出版社, 2008.5

ISBN 978-7-81124-310-9

I. 单… II. 周… III. 单片微型计算机—高等学校—教材 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 048322 号

©2008,北京航空航天大学出版社。版权所有。

未经本书出版者书面许可,任何单位和个人不得以任何形式或手段复制或传播本书及其所附光盘内容。侵权必究。

### 单片机项目教程

周 坚 编著

责任编辑 董云凤 张金伟

\*

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

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

\*

开本:787×960 1/16 印张:16.75 字数:375 千字

2008 年 5 月第 1 版 2008 年 5 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 978-7-81124-310-9 定价:28.00 元(含光盘 1 张)

# 前言

以 80C51 为内核的系列单片机在我国应用多年,80C51 系列单片机教材数不胜数,本书则是一本适用于高等职业学院和中等职业学校使用的教材。

## 简介

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而成,以建构主义教学理论为指导,主要采用了“以任务为中心”的教学模式来编排。如第 2 章的内容主要是单片机的结构与原理,教材中安排了多个任务。以任务为核心,配置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,学生在学完这些知识以后完成这一任务。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,使学生从一开始就能体会到成功的喜悦,有利于学习的顺利进行;在安排其他部分内容时,也打破学科体系的束缚,以学生的实际需求为目标,如授课时将定时器/计数器、中断、串行接口部分知识安排在指令部分之前,但教材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。在教学实践中可以看到,学生并没有因为尚未学“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,但按本教材的编排方法,学生在学习指令部分的知识之前就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,因而会学得较轻松。

## 内容安排

在本书内容取舍方面,着重从高等职业学院、中等职业学校的实际出发,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。

本书第 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。读者学完本章,实际已实现初步入门,可以做一些模仿性的开发、编程工作。

第 3 章介绍定时器/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

## 前言

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的指令系统和汇编语言程序设计。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~第9章介绍单片机应用中的各种接口技术。各部分内容都是围绕一个或多个任务来完成。其中第5章是显示器接口技术,通过时钟、LCD文本显示器等任务介绍LED显示器、LCD显示的接口技术;第6章是键盘接口技术,通过可预置的倒计时钟、智能仪器键盘等任务学习各种键盘设计技术;第7章是模拟量接口,通过多路输入电压表、任意波形发生器等任务学习A/D、D/A相关知识;第8章是I<sup>2</sup>C串行接口总线技术,通过制作一个AT24C01A编程器任务来学习I<sup>2</sup>C接口及编程技术;第9章是SPI串行接口总线技术,通过制作一个手动X5045编程器的任务来学习SPI接口、X5045芯片的应用技术。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。

附录由4部分组成,附录A介绍了一块强电接口板,可与单片机实验板配合控制较大功率电器,例如制作成真正的流水灯等;附录B安排了“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,问题是由学习者提出的,它真实地反映了各层次的读者在学习单片机时遇到的问题;附录C给出了让读者在入门的基础上进一步提高的方案;附录D是本书所附光盘的介绍。

### 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。同时考虑到高等职业技术学院、职业中学的实际情况,本书在安排有关实践内容时,假设读者不是随时能够在实验室中,身边随时有老师指导,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,而且在附带的光盘中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,有一些是参考一些资料改写的,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。

作者在提供文字教材的同时还通过网络为广大读者提供服务,欢迎读者与作者探讨。

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

第1、8、9章及附录部分由周坚编写,第2章由江苏省镇江机电高等职业技术学校吴巍老师编写,第3章由浙江省余姚市第四职业技术学校彭金华老师编写,第4章、第5章和第6章分别由江苏省溧阳市职业教育中心的史建福老师、夏爱联老师和张庆明老师编写,第7章由华旭东编写,全书由周坚统稿。

陈素娣、周瑾、周勇、徐培等参加了多媒体制作、插图绘制、文字输入及排版等工作,在此表示由衷的感谢。

本教材配有教学课件。需要用于教学的老师,请与北京航空航天大学出版社联系,或到作者的主页上下载。

北京航空航天大学出版社联系方式如下:

通信地址:北京市海淀区学院路37号 北京航空航天大学出版社

邮编:100083

电话:010-82317027

传真:010-82328026

E-mail: [bhkejian@126.com](mailto:bhkejian@126.com)

作者主页网址为: <http://www.mcustudio.com/download/>

周 坚  
2008年1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 .....	3
1.2.1 硬件准备 .....	3
1.2.2 软件准备 .....	4
1.3 计算机数据表示 .....	4
1.3.1 常用的进位计数制 .....	4
1.3.2 二进制的算术运算 .....	6
1.3.3 数制间的转换 .....	6
1.3.4 数的表示方法及常用计数制的对应关系 .....	7
1.3.5 逻辑数据的表示 .....	8
1.4 计算机中常用的基本术语 .....	9
1.5 存储器 .....	11
1.5.1 存储器的工作原理 .....	11
1.5.2 半导体存储器的分类 .....	13

## 第 2 章 一步一步学单片机

2.1 软件实验环境的建立 .....	15
2.1.1 Keil 软件简介、安装与使用 .....	15
2.1.2 实验仿真板简介、安装与使用 .....	25
2.2 用单片机控制 LED .....	30
2.2.1 实例分析 .....	30
2.2.2 用实验仿真板来实现 .....	32
2.2.3 单片机的工作过程 .....	33
2.3 单片机控制 LED 闪烁发光 .....	34
2.3.1 实例分析 .....	34
2.3.2 用实验仿真板来实现 .....	36
2.3.3 单片机的片内 RAM 与工作寄存器 .....	37

## 目 录

2.3.4	延时程序分析	40
2.3.5	延时时间的计算	40
2.4	单片机的复位电路	42
2.5	省电工作方式	43
2.6	单片机控制 8 个 LED 闪烁发光	44
2.6.1	实例分析	44
2.6.2	用实验仿真板来实现	45
2.7	用按钮控制 LED	46
2.7.1	实例分析	46
2.7.2	用实验仿真板来实现	47
2.8	并行 I/O 口	47
2.8.1	并行 I/O 口的功能	47
2.8.2	并行 I/O 口的结构分析	48
2.8.3	I/O 端口的输入功能分析	49
2.9	用单片机实现流水灯	52
2.9.1	实例分析	52
2.9.2	用实验仿真板来实现	53
2.10	单片机内部结构分析	53
2.10.1	80C51 CPU 的内部结构与功能	54
2.10.2	控制器	57
2.11	硬件实验环境的建立	58
2.11.1	实验板原理	58
2.11.2	硬件结构	59
2.11.3	实验电路板的基本使用方法	61
2.11.4	编程器的使用	63
<b>第 3 章 定时器/计数器、中断和串行接口</b>		
3.1	定时器/计数器的基本概念	65
3.2	单片机的定时器/计数器	67
3.2.1	定时器/计数器的基本结构及工作原理	67
3.2.2	定时器/计数器的控制字	68
3.2.3	定时器/计数器的 4 种工作方式	70
3.2.4	定时器/计数器的定时/计数初值的计算	73
3.2.5	实现定时器控制的 LED 闪烁	74
3.2.6	单片机计数的应用	74
3.3	中断系统	77
3.3.1	中断概述	77



3.3.2	中断系统的结构	78
3.3.3	中断控制	80
3.3.4	中断响应过程	82
3.3.5	实现紧急状态的处理和报警	84
3.4	定时器/计数器、中断的综合应用	86
3.5	串行通信	89
3.5.1	串行通信概述	89
3.5.2	单片机的串行接口	92
3.5.3	串行口工作方式	94
3.5.4	串行口应用的实现	97
<b>第4章 80C51 的指令系统</b>		
4.1	概 述	104
4.1.1	有关指令与程序的基本概念	104
4.1.2	汇编语言格式	105
4.2	指令的寻址方式	106
4.2.1	寻址的概念	106
4.2.2	寻址方式	107
4.2.3	指令中的操作数标记	110
4.3	数据传送类指令及练习	111
4.3.1	数据传送类指令	111
4.3.2	用仿真软件进行指令练习	116
4.4	算术运算类指令	120
4.5	逻辑运算类指令	125
4.6	控制转移类指令	128
4.7	位操作类指令	135
4.8	程序设计实例	137
<b>第5章 显示接口技术</b>		
5.1	用单片机控制 LED 数码管显示数字	145
5.1.1	用单片机控制单个 LED 数码管	145
5.1.2	用单片机控制多个 LED 数码管	151
5.1.3	秒表的实现	159
5.2	字符型液晶显示器的使用	164
5.2.1	字符型液晶显示器的基本知识	165
5.2.2	字符型液晶显示器的使用	166
5.2.3	字符型液晶显示器任务的实现	170

## 目 录

<b>第 6 章 键盘接口</b>	172
6.1 键盘工作原理	172
6.2 使用按键来控制流水灯	173
6.3 可预置数的倒计时钟	176
6.4 做个智能仪器的键盘	183
<b>第 7 章 模拟量接口</b>	190
7.1 A/D 转换接口	190
7.1.1 A/D 转换的基本知识	190
7.1.2 典型 A/D 转换器的使用	191
7.1.3 数字电压表的实现	193
7.2 D/A 转换接口	195
7.2.1 D/A 转换器工作原理	195
7.2.2 典型 D/A 转换器的使用	196
7.2.3 全数字信号发生器的实现	199
<b>第 8 章 I<sup>2</sup>C 串行接口总线</b>	203
8.1 I <sup>2</sup> C 串行接口简介	203
8.2 典型 I <sup>2</sup> C 总线接口芯片 AT24 系列 EEPROM	204
8.3 AT24C01A 编程器的实现	210
<b>第 9 章 SPI 总线接口</b>	218
9.1 SPI 串行总线简介	218
9.2 SPI 接口典型芯片 X5045 的结构和特性	218
9.3 X5045 的驱动程序	221
9.4 X5045 手动编程器的实现	227
<b>附录 A 实战——接真正的灯</b>	237
A.1 工作原理	237
A.2 元器件的选择	239
A.3 安装及调试	239
<b>附录 B 单片机常见问题问与答</b>	247
<b>附录 C 进阶与提高</b>	253
C.1 硬件仿真功能的使用	247
C.2 具有更多功能的实验板	253
<b>附录 D 配套光盘使用说明</b>	254
D.1 文件夹内容说明	254
D.2 使用	254
<b>参考文献</b>	258

# 第1章

## 概述

其次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,通过电路连接而构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,其他一些公司如 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。总体来说,这一阶段的单片机性能较弱,属于低、中档产品。

## 第1章 概述

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。例如,模/数转换器(ADC)、看门狗(WDT)、脉宽调制器(PWM)等,其他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异的 32 位单片机,单片机的应用达到了一个更新的层次。

随着技术的进步,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,单片机的发展有如下一些特点:

**CMOS 化** 由于 CHMOS 技术的进步,大大地促进了单片机的 CMOS 化。CMOS 芯片除了低功耗特性之外,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。

**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已可达 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,单片机内 ROM 最大可达 256 KB 以上,RAM 可达 4 KB 以上。

**高性能化** 通过进一步改进 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 Instruction Per Seconds,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机化,可广泛用于家电产品。

**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。

**ISP 技术** ISP(In-System Programming)在系统可编程是指可以通过特定的编程工具对已安装在电路板上的器件编程写入最终用户代码,而不需要从电路板上取下器件。利用 ISP

技术不需要编程器就可以进行单片机的实验和开发,单片机芯片可以直接焊接到电路板上,调试结束即成为成品,免去了调试时由于频繁地插入取出芯片对芯片和电路板带来的不便。

**IAP 技术** IAP(In-Application Programming)是指在用户的应用程序中对单片机的程序存储器进行擦除和编程等操作,IAP 技术应用的一个典型例子是可以较为容易地实现硬件的远程升级。

在单片机家族中,80C51 系列是其中的佼佼者。Intel 公司将 80C51 单片机的内核以专利互换或出售的方式转让给其他许多公司,如 Philips、Atmel、NEC 等。因此,目前有很多公司在生产以 80C51 为内核的单片机,这些单片机在保持与 80C51 单片机兼容的基础上,改善了 80C51 单片机的许多特性。这样,80C51 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很多种,其中 89S51 就是近年来在我国流行的单片机。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,而且 89S51 内部的 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

需要准备的硬件有:可以对 89S51 单片机芯片编程的编程器一只或下载线一条;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。

有很多商品化的编程器可供选择,其价格从数百元到数千元直到数万元不等。下载线的价格不高,Atmel 公司公布了自制下载线的方案并提供了所需要的编程软件,网上也可以找到很多更易于使用的编程软件,有一定电子技术基础的读者可以自行动手制作下载线。本书附录中为读者推荐了一种性价比比较高的下载线,读者可以根据自己的条件来准备。仿真器的品种很多,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都有销售,本书附录为读者介绍了一种性价比较高的仿真器,可以根据各人自身的经济条件选择。

本书第 2 章介绍了一块实验板,这块实验板上安装有 8 个发光二极管,4 个按钮,6 位数码管。具有 I<sup>2</sup>C 总线接口的 AT24C×× 系列串行 EEPROM 芯片;具有 I<sup>2</sup>C 总线接口的实时时钟芯片 PCF8563;具有开机复位、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 X5045;安装有 RS232 串行接口芯片,可与微机通信;安装有字符型液晶显示

## 第1章 概述

器的插座。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,书中安排的多与硬件有关的实验,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,其中所带的汇编器和连接器可用于汇编语言的学习。Keil 是商业软件,它同时也有供学习者使用的 Eval 版本,该版本的功能与正式版一样,但生成的代码量有一定的限制,最终生成的代码不能超过 2 KB,对于学习来说这已经足够了。读者可以到 <http://www.keil.com> 网站去下载 Keil 的最新版软件。该软件带有一个集成开发环境( $\mu$  Vison2),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方法,如模拟 I/O 口输入,观察 I/O 输出,对串行口进行调试等,功能强大,可以在一定程度上代替仿真器使用。

## 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,是指每位数码只取两个值,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,它仅有两个数字符号,这就特别适合用电子元器件来实现。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。下面分别介绍数制的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“10”,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 4 位十进制数,都可以写成如下形式:

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

上述式子各位的权分别是十、百、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、3权位等,上式称为按权展开式。

$$\text{例: } 3\ 525 = 3 \times 10^3 + 5 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 5 \times 10^0$$

## 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“2”,即它所使用的数码为0、1,共2个数字。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位二进制数中各位的权是:

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

$$\text{例: } (1011)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = (11)_{10}$$

## 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“16”,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、F。其中A、B、C、D、E、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为:

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

$$\text{例: } (17F)_{16} = 1 \times 16^2 + 7 \times 16^1 + 15 \times 16^0 = (383)_{10}$$

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,因而人们在书写计算机语言时多用十六进制。

## 4. 二一十进制编码

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之间联系的桥梁,这就是二一十进制。

在二一十进制中,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种状态来组成数符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8421码,因为这种码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列出几个数作为比较。

从表1-1中不难看出,对于小于10的数来说,BCD码和二进制码没有什么区别,但对于大于10的数,BCD码和二进制码就不一样了。

## 第1章 概述

表 1-1 二进制、十进制、十六进制数与 BCD 码的对应关系

十进制	十六进制	二进制	BCD 码	十进制	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

十进制数转换为二进制数采用“除二取余法”,即把待转换的十进制数不断地用 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。

$$\begin{array}{r}
 2 \overline{) 13} \dots\dots\dots 1 \text{ 低位} \\
 \underline{26} \dots\dots\dots 0 \\
 2 \overline{) 3} \dots\dots\dots 1 \quad \uparrow \\
 \underline{21} \dots\dots\dots 1 \text{ 高位} \\
 0
 \end{array}$$

结果是： $(13)_{10} = (1101)_2$ 。

## 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。

$$(1110110)_2 = 1 \times 2^6 + 1 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = (118)_{10}$$

## 3. 二进制数转换为十六进制数

十六进制数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 位二进制数转化为 1 位十六进制数，不足部分用 0 补齐”。

例：将 $(1110000110110001111)_2$ 转化为十六进制数。

把 $(1110000110110001111)_2$ 写成下面的形式：

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

结果是： $(1110000110110001111)_2 = (70D8F)_{16}$ 。

## 4. 十六进制数转换为二进制数

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

例：将 $(145A)_{16}$ 转化为二进制数。

将每位十六进制数写成 4 位二进制数，即

$$0001 \ 0100 \ 0101 \ 1010$$

结果是： $(145A)_{16} = (1010001011010)_2$ 。

### 1.3.4 数的表示方法及常用计数制的对应关系

#### 1. 数的表达方法

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。