



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
(高职高专)

单片机原理及应用

张水利 主编



黄河水利出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

(高职高专)

单片机原理及应用

主 编 张水利

副主编 黄丹辉 李玉清 鲁冠华

主 审 蒋世祥 谷礼新

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是按照国家对高职高专人才培养的要求及高职高专教学特点编写完成的。本书以 MCS-51 单片机为核心,系统地介绍了单片机的基本结构、指令系统、汇编程序设计、系统扩展与接口、应用系统设计等内容,同时简单介绍了微型计算机的基本概念和常用新型单片机,使读者初步掌握 MCS-51 单片机的应用技术。本书可作为高职高专院校机电类相关专业的教材,也可供中等职业学校、电大使用,还可作为工程技术人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理及应用/张水利主编. —郑州:黄河水利出版社, 2008.8

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-80734-461-2

I.单… II.张… 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 118990 号

组稿编辑:王路平 电话:0371-66022212 E-mail:hhsllwp@126.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail: hhsllcs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:17

字数:393 千字

印数:1—4 100

版次:2008 年 8 月第 1 版

印次:2008 年 8 月第 1 次印刷

定价:30.00 元

前 言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材，是根据《国务院关于大力发展职业教育的决定》、教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》等文件精神，以及教育部对普通高等教育“十一五”国家级规划教材建设的具体要求组织编写的。

高等职业教育是我国高等教育的重要组成部分，其根本任务是培养和造就适应生产、建设、管理、服务第一线需要的德、智、体等全面发展的高技术应用型人才。近年来伴随产业结构的调整，高等职业教育从规模和质量上迅速发展，从教学模式和教学方法上不断进步，高职教材建设也需要适应高职教育特色做出重新调整。

单片机原理及应用是机电类相关专业的一门重要专业课程，它既有一定的理论性，同时又有很强的实践性，在机电类专业的课程体系中具有基础性、工具性和应用性的作用。其先修课程是《高等数学》、《电路》、《电子技术基础》，后续课程则包括《计算机控制技术》、《PLC 原理与应用》、《机电一体化系统》等。

从专业课设计的角度看，单片机原理及应用课程并不单纯为学习单片机技术，重点在于学习单片机技术的应用。另外，一般院校的高职学生在理论学习方面同本科学生就有一定差距。因此，本教材在指导思想、编写内容和编写方法上突出高职教学的特点，以满足高职学生学习和就业的需要。在编写过程中，本教材主要考虑了以下几个方面：教材以人的认知规律为主线，以课程结构为辅线；突出应用技能培养，淡化理论体系；突出实用性和兴趣性，适合高职教学模式；注重专业发展和就业需求，教材内容充分反映新知识、新技术和新方法。

本书以 MCS-51 单片机为核心，系统介绍了单片机的基本结构、指令系统、汇编程序设计、系统扩展与接口、应用系统设计等内容，同时简单介绍了微型计算机的基本概念和常用新型单片机，使读者初步掌握 MCS-51 单片机的应用技术。完成本课程教学一般需要 70~80 学时，条件允许的情况下还可增加两周左右的集中实训环节，以提高学生的综合应用能力。本书可作为高职高专院校机电类相关专业的教材，也可供中等职业学校、电大等学校教学使用，还可作为工程技术人员的参考资料。

本书编写分工如下：第一章由广西水利电力职业技术学院梁小流编写，第二章与附录由山东水利职业学院张水利编写，第三章由福建水利电力职业技术学院黄丹辉编写，第四章由安徽水利水电职业技术学院何强编写，第五章由浙江同济科技职业学院姚佩璇编写，第六章由黄河水利职业技术学院李自鹏编写，第七章由三峡电力职业学院李玉清编写，第八章由山东水利职业学院刘星编写，第九章由沈阳农业大学高等职业技术学院应文博编写，各章后的实训课题统一由山东水利职业学院鲁冠华编写。全书由张水利提供教材大纲、编写计划并负责统稿，由浙江同济科技职业学院蒋世祥、黄河水利职业技术学院谷礼新主审。

在本书的编写过程中，许多新知识、子程序、内容编排借鉴了部分网站及其他教材的内容，在此一并表示感谢。由于编者的水平限制，编写时间比较仓促，加之单片机技术的发展日新月异，书中必定存在不少错误和不当之处，敬请批评指正。作者联系邮箱为 sdsyzsl@163.com，请您与我们联系，多提宝贵意见，在此表示衷心感谢。

编者

2008年3月

目 录

前 言

| | |
|----------------------|------|
| 第一章 单片机基础 | (1) |
| 第一节 单片机概述 | (1) |
| 第二节 单片机运算基础 | (5) |
| 本章小结 | (13) |
| 习题与思考题 | (13) |
| 第二章 MCS-51 单片机的结构与原理 | (15) |
| 第一节 MCS-51 单片机的结构 | (15) |
| 第二节 CPU 及总线 | (19) |
| 第三节 存储器 | (21) |
| 第四节 PIO 端口 | (26) |
| 第五节 CPU 时序 | (28) |
| 第六节 单片机最小系统 | (29) |
| 第七节 单片机的工作方式 | (31) |
| 实训课题 | (32) |
| 本章小结 | (35) |
| 习题与思考题 | (35) |
| 第三章 MCS-51 单片机的程序设计 | (37) |
| 第一节 汇编语言简介 | (37) |
| 第二节 寻址方式 | (39) |
| 第三节 指令系统 | (41) |
| 第四节 汇编系统 | (55) |
| 第五节 汇编语言程序设计 | (57) |
| 实训课题 | (72) |
| 本章小结 | (75) |
| 习题与思考题 | (75) |
| 第四章 MCS-51 单片机的中断系统 | (78) |
| 第一节 MCS-51 中断系统 | (78) |
| 第二节 中断系统的应用 | (86) |
| 实训课题 | (90) |
| 本章小结 | (92) |
| 习题与思考题 | (93) |

| | |
|------------------------------------|-------|
| 第五章 MCS-51 单片机的定时/计数器 | (94) |
| 第一节 定时/计数器概述..... | (94) |
| 第二节 定时/计数器的控制..... | (96) |
| 第三节 定时/计数器四种方式及应用..... | (98) |
| 实训课题..... | (104) |
| 本章小结..... | (108) |
| 习题与思考题..... | (108) |
| 第六章 MCS-51 单片机的串行口 | (109) |
| 第一节 串行通信的基本知识..... | (109) |
| 第二节 MCS-51 单片机的串行口..... | (114) |
| 第三节 MCS-51 串行口的应用..... | (121) |
| 实训课题..... | (127) |
| 本章小结..... | (129) |
| 习题与思考题..... | (130) |
| 第七章 MCS-51 单片机的扩展与接口 | (131) |
| 第一节 外部总线的扩展..... | (131) |
| 第二节 外部存储器的扩展..... | (134) |
| 第三节 并行输入输出接口的扩展..... | (150) |
| 第四节 人机对话接口..... | (157) |
| 第五节 模拟通道接口..... | (165) |
| 第六节 开关通道接口..... | (174) |
| 实训课题..... | (178) |
| 本章小结..... | (188) |
| 习题与思考题..... | (188) |
| 第八章 MCS-51 单片机应用系统设计 | (189) |
| 第一节 应用系统的开发过程..... | (189) |
| 第二节 单片机的开发工具..... | (194) |
| 第三节 系统抗干扰设计..... | (197) |
| 实训课题..... | (201) |
| 本章小结..... | (207) |
| 习题与思考题..... | (207) |
| 第九章 新型单片机简介 | (208) |
| 第一节 AT89 系列单片机简介..... | (208) |
| 第二节 AVR 单片机简介..... | (211) |
| 第三节 PIC 单片机简介..... | (215) |
| 第四节 ARM 单片机简介..... | (218) |
| 第五节 DSP 芯片简介..... | (223) |
| 本章小结..... | (230) |

| | |
|---------------------|-------|
| 习题与思考题 | (230) |
| 附录 | (231) |
| 附录 A MCS-51 指令系统 | (231) |
| 附录 B 常用芯片 | (238) |
| 附录 C 单片机实验板简介 | (240) |
| 附录 D VW 集成调试环境简介 | (249) |
| 附录 E STC-ISP 编程软件简介 | (259) |
| 参考文献 | (264) |

第一章 单片机基础

提要 本章主要介绍单片机的定义、基本结构、发展过程及趋势、特点及应用场合等基本内容, 同时还将介绍数制与转换、数的运算、数的表示、信息编码等微机内部与运算相关的内容。

重点 单片机的基本结构、特点及应用场合, 数制及相互转换的方法, 计算机中数的表示方法, 计算机中信息的编码方法。

难点 数的表示与进制转换。

导入 单片机的应用范围很广, 不管是在日常生活中还是在工业生产中都有广泛的应用。比如近几年来市场上出现的一种汽车防撞雷达(俗称电子眼), 它就是利用单片机来实现防撞报警功能的。它的工作原理如下: 单片机产生超声波, 利用传感器发射超声波并接收反射回波, 通过单片机内部的计数器获得两者时间差 t , 利用公式 $S=Ct/2$ 计算距离(其中 S 为汽车与障碍物之间的距离, C 为声波在介质中的传播速度), 然后单片机又通过显示器把距离以十进制数的形式显示出来, 同时发出报警声, 以起到警示作用。

第一节 单片机概述

一、微型计算机概述

自 1946 年世界上第一台数字电子计算机 ENIAC(Electronic Numerical Integrator And Calculator)在美国宾夕法尼亚大学问世以来, 电子计算机的发展经历了以下四个阶段:

第一阶段(1946~1958 年)电子管数字计算机, 计算机的逻辑元件采用电子管, 主存储器采用磁鼓、磁芯, 外存储器已开始采用磁带; 软件主要用机器语言编制, 后期逐步发展了汇编语言。此时的计算机主要用于科学计算。

第二阶段(1958~1964 年)晶体管数字计算机, 计算机的逻辑元件采用晶体管, 主存储器采用磁芯, 外存储器已开始使用磁盘; 软件已开始有很大的发展, 出现了各种高级语言及编译程序。此时, 计算机速度明显提高, 耗电下降, 寿命延长。计算机已发展用于各种事务处理, 并开始应用于工业控制。

第三阶段(1964~1971 年)集成电路计算机, 计算机的逻辑元件采用小规模和中规模集成电路, 即 SSI 和 MSI; 软件发展更快, 已有分时操作系统。计算机的应用范围日益扩大。

第四阶段(1971 年以后)大规模集成电路计算机, 计算机的逻辑元件采用大规模集成电路。所谓的大规模集成电路(LSI)是指在单片硅片上可集成 1 000~20 000 个晶体管的集成电路。由于 LSI 的体积小, 耗能少, 可靠性高, 计算机以极快速度发展。

到 20 世纪 80 年代, 日、美、欧部分国家提出发展生物、光学等第五代智能化计算机, 不过目前尚无较大突破。目前计算机的发展方向: 一是向大型、巨型化发展; 二是向小型、

微型化发展。

(一)大型、巨型计算机

现代科学技术的发展要求提高计算机的运算速度,加大主存储器容量,因此出现了大型和巨型计算机。如美国的克雷公司生产的 Cray-1、Cray-2、Cray-3 巨型计算机,我国的银河Ⅲ、曙光 3000、神威等并行巨型计算机。其中,曙光 3000 的峰值浮点运算达每秒 4 032 亿次,在世界 500 强中排名第 48 位。目前,世界上只有少数几个国家有能力生产巨型计算机,它象征着一个国家的科技实力。

(二)小型、微型计算机

大型机速度快、容量大,解决了过去无法完成的实时计算及复杂的数学问题。但是由于其设备庞大、价格昂贵,给普及和应用带来了一定困难。另一方面,为了适应宇航、导弹技术及一般应用的要求,体积小、造价低、可靠性高就成了问题的关键,小型机特别是微型机的出现有效地解决了这个问题。

所谓的微型计算机(Microcomputer,简称 MC)是指把计算机的心脏——中央处理器(CPU)集成在一小块硅片上。为了区别于大、中、小型计算机的 CPU,称微型计算机的 CPU 芯片为微处理器 MPU(Microprocessing Unit 或 Microprocessor)。微型计算机除了有 MPU 作为中央处理器,还有以大规模集成电路制成的主存储器和输入输出接口电路,三者之间采用总线结构连接起来。如果再配上相应的外围设备如显示器、键盘及打印机等,就成为微型计算机系统(Microcomputer System)。目前,广泛应用于家庭、办公场合的电脑大部分属于微型计算机(简称微机)。

二、单片机的定义

单片机是单片微型计算机 SCM(Single Chip Microcomputer)的简称,它是把组成微型计算机的各部件,包括中央处理器、存储器、输入/输出接口、定时/计数器等,制作在一块集成电路芯片中,构成一台完整的微型计算机。单片机的主要任务是面向控制,因此又称为微控制器 MCU(Micro Controller Unit)。在国际上,正逐渐用 MCU 代替 SCM 这一名称。

单片机作为微型计算机的一个重要分支,它的发展和用越来越引起人们的重视。到目前为止,世界各大半导体公司推出的单片机已有几十个系列的几百个品种,比较著名的有 Intel 公司的 MCS-51 系列、Motorola 公司的 6800 系列、Zilog 公司的 Z8 系列、Rockwell 公司的 6500 系列等。

尽管单片机品种、系列繁多,但其基本原理有许多相近之处,本书主要以目前我国应用最广泛的 MCS-51 为例,讲述其结构、原理、编程和应用。

三、单片机的基本结构

在单片机的定义中提到,单片机主要由 CPU、存储器、输入/输出接口(I/O 口)等几部分组成,并将各部分集成到一块半导体芯片上,其基本结构框图如图 1-1 所示。

(一)CPU

CPU 是 Central Processing Unit 的缩写,通常译做中央处理器。它是单片机的核心部件,主要由运算器和控制器两部分组成,完成算术运算、逻辑运算及整个单片机的控制功能。

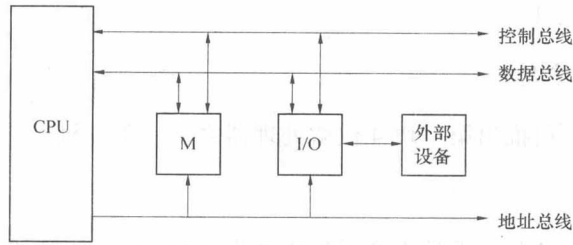


图 1-1 单片机的基本结构框图

CPU 不断地从程序存储器中取出指令并进行分析, 然后根据指令要求进行运算或者发出控制信号, 使单片机的有关部件或单元有条不紊地工作, 保证单片机能够自动、连续、协调地运行。

(二) 存储器

存储器(Memory)是具有记忆功能的部件, 用来存储程序和数据。单片机中的存储器按其工作方式可分为 ROM 和 RAM 两种。ROM 是 Read Only Memory 的简称, 即只读存储器, 存于其中的信息在掉电后也不会丢失, 常用于存放程序和固定数据, 因此 ROM 常被称做程序存储器; RAM 是 Random Access Memory 的简称, 是随时可读可写的存储器, 简称随机存储器, 掉电后数据立即丢失, 常用于存储随机变化的数据, 因此 RAM 常被称做数据存储器。

存储器中最小的存储单元称做位(bit), 可存储 1 位二进制信息。由于目前常用的 8 位单片机能够同时处理 8 位数据, 所以在存取数据时, 一般是以 8 位为单位进行的, 我们将 8 位二进制位组合而成的存储单元称做字节(Byte)。而在 16 位计算机中, 为了表示方便, 我们通常也将 16 位二进制位称做字(Word)。

在数据存取时, 每个存储单元都有一个编号, 称做地址(Address)。同样, 存储单元的地址也是以二进制来表示, 单片机包含的存储单元越多, 需要地址码的位数也就越多。例如, 如果某单片机的地址采用 16 位二进制数表示, 则其最大范围为 0000H ~ FFFFH, 最多可有 $2^{16}=65\ 536$ 个地址单元。

(三) I/O 接口

I/O 是 Input/Output 的缩写, 即输入/输出接口, 用来连接单片机与外部设备, 完成信息的输入与输出。根据工作方式的不同, 单片机中常用的输入输出单元有 PIO 和 SIO 两种。PIO 是 Parallel Input Output 的缩写, 称做并行输入/输出接口, 能够同时输入输出多位数据, 当然同外部设备之间需要连接多根导线。SIO 是 Serial Input Output 的缩写, 称做串行输入/输出接口, 每次只能输入或者输出 1 位数据, 同外部设备之间只需连接 1 根或 2 根导线。

通常情况下, 若单片机与外部设备之间的距离较近, 为提高通信速度, 常采用 PIO 连接; 若距离较远, 为简化连接关系, 则采用 SIO 连接。

(四) 总线

总线是单片机的 CPU 与其他各部件之间进行通信的公共通道。根据传递信息的不同, 总线主要可分为数据总线(Data Bus)、地址总线(Address Bus)和控制总线(Control Bus)三种。数据总线用来传递数据, 地址总线用来给出各单元的地址, 而控制总线则用来传输控制信

号，协调整个单片机的工作。

四、单片机的发展

自 1971 年 Intel 公司推出第一块 4 位微处理器之后，单片机迅速发展，并广泛用于工业自动控制领域。

(一)4 位单片机

1971 年 11 月，Intel 公司设计生产了集成度为 2 000 只晶体管的 4 位微处理器 4004，并配有 RAM、ROM 和移位寄存器，构成第一台 MCS-4 微处理器。这种微处理器虽然只能用于简单控制，但由于价格低廉，至今仍有多功能的 4 位机问世。

(二)8 位单片机

1974 年，Intel 公司又推出了 8 位单片机 MCS-48，虽然该系列单片机不带串行接口，寻址能力不足 4 KB，但仍可满足一般工业控制和智能化仪表的需要。1978 年，Intel 公司发布了高档 8 位单片机 MCS-51，其寻址能力达到了 64 KB，中断系统、定时/计数器等性能均有很大程度的提高，目前该系列的芯片仍在广泛应用。此外，世界上一些知名的电子电路厂商都有自己的 8 位单片机芯片，占据了部分市场份额。

(三)16 位单片机

1982 年，Mostek 公司首先推出了 16 位单片机 68200，随后 Intel 公司于 1983 年推出了 MCS-96 系列 16 位单片机，其他公司也相继推出了同档次的产品。由于 16 位单片机采用了最新的制造工艺，其计算速度和控制功能大幅度提高，具有很强的实时处理能力。

(四)32 位单片机

1988 年，Intel 公司推出了 MCS960 系列 32 位单片机，采用 RISC(Reduced Instruction Set Computer)指令体系，系统结构也大大区别于以往的单片机，运算性能有了极大的提高，但在我国应用较少。1991 年，ARM 公司的 ARM6 问世，随后又推出了 ARM7 和 ARM9 系列。进入 21 世纪以后，ARM 系列芯片迅速发展，目前已占据了 32 位 RISC 微处理器市场份额的 75%，成为高端微处理器的主要代表。

总体说来，单片机有两方面的发展趋势：一方面是不断增加位数，以提高其运算速度及存储器容量；另一方面是向高集成化、低功耗、低价格方向发展，同时其控制功能不断增强。比如，片内集成了 PWM 输出、监视定时器 WDT、可编程计数器阵列 PCA、DMA 传输、调制解调器等，使得单片机广泛应用于大量数据的实时处理、高级通信系统、数字信号处理、复杂工业过程控制、高级机器人以及局域网等方面。

五、单片机的特点及应用

单片机具有体积小、重量轻、价格廉、功耗低、性能价格比高等特点，同时其数据大都在单片机内部传送，因而运行速度快、抗干扰能力强、可靠性高。而且，每一种单片机都是一个系列，包括若干个品种，结构灵活，易于组成各种微机应用系统，所以它在国民经济、军事及家用电器等领域均得到了广泛应用。

根据单片机的特点，其应用主要包括单机应用和多机应用两个方面。

(一)单机应用

在一个应用系统中只使用一个单片机，是应用最多的一种方式，其主要应用领域有：

(1)测控系统。用单片机可构成各种工业控制系统、自适应系统、数据采集系统等。例

如, 温室人工气候控制、水闸自动控制、电镀生产线自动控制等。

(2)智能仪表。用单片机改造原有的测量、控制仪表, 能促进仪表向数字化、智能化、多功能化、综合化、柔性化发展。如温度、压力、流量、浓度等的测量、显示及仪表控制, 使仪表中长期存在的误差修正、线性化处理等难题迎刃而解。

(3)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。如简易数控机床、电脑绣花机、医疗器械等。

(4)智能接口。在计算机控制系统(特别是较大型的工业测控系统)中, 普遍采用单片机进行接口的控制与管理, 因单片机与主机是并行工作, 故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 ADC 接口进行控制不仅可提高采集速度, 还能对数据进行预处理, 如数字滤波、线性化处理、误差修正等。

(5)智能民用产品。在家用电器、玩具、游戏机、声像设备、办公设备等产品中引入单片机, 不仅使产品的功能大大增强, 而且获得了良好的使用效果。

(二)多机应用

单片机的多机应用系统可分为功能集散系统、并行多控制系统及局部网络系统。

(1)功能集散系统。多功能集散系统是为了满足工程系统多种外围功能的要求而设置的多机系统。例如, 一个加工中心的计算机系统除了完成机床加工运行控制, 还要控制对刀系统、坐标系统、刀库管理、状态监视、伺服驱动等机构。

(2)并行多控制系统。并行多控制系统主要用于解决工程应用系统的快速问题, 以便构成大型实时工程应用系统。如快速并行数据采集、处理系统, 实时图像处理系统等。

(3)局部网络系统。单片机网络系统的出现, 使单片机应用达到了一个新的水平。目前网络系统主要是分布式测控系统, 单片机主要用于系统中的通信控制, 以及构成各种测控子级系统。典型分布式测控系统有两种类型: 树状网络系统与位总线网络系统。

第二节 单片机运算基础

一、数制及转换

在日常生活中, 人们最熟悉的是十进制数。但在计算机中, 都是采用二进制数来表示各种信息。因此, 要分析单片机的工作原理, 必须学会使用二进制。但由于二进制只有“0”、“1”两个数字, 在表示较大的数时, 数字的长度很大, 不便于读写, 因此又常用十六进制来表示二进制数。

(一)进位计数制

所谓进位计数制就是按进位原则进行计数的方法。例如, 十进制、二进制、八进制、十六进制等计数制中, 是按“逢十进一”、“逢二进一”、“逢八进一”、“逢十六进一”的原则进行计数的。

进位计数制有基数和位权两个基本要素。所谓基数是指进位计数制中产生进位的数值, 它等于该数制中所用到的数码的个数, 用 R 表示。例如, 十进制所用的数符是 0~9 十个数符, $R=10$ 。二进制所用的数符是 0 和 1, $R=2$ 。位权是指进位计数制中每个数位所

对应的固定值，即每个数位所占的权重。例如在十进制中，小数点之前的数位依次为个位、十位、百位、千位、万位、……，小数点之后的数位依次为十分位、百分位、千分位、万分位、……，即各位的位权分别为： $\dots, 10^3, 10^2, 10^1, 10^0, 10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}, \dots$ 。

(二)进位计数制的表示

对于任意进位计数制的数，其值 N 可以表示为：

$$N = \pm \sum_{i=-m}^{n-1} K_i R^i \quad (1-1)$$

式中： m, n 均为正整数； K_i 则是 $0, 1, \dots, R-1$ 中的任意一个； R 是基数，采用“逢 R 进一”的原则进行计数。

(1)十进制： $R=10$ ，数码为 $0 \sim 9$ ，采用“逢十进一”的原则计数。例如，十进制数 567.89 可以表示为：

$$567.89 = 5 \times 10^2 + 6 \times 10^1 + 7 \times 10^0 + 8 \times 10^{-1} + 9 \times 10^{-2}$$

(2)二进制： $R=2$ ，数码为 $0, 1$ ，采用“逢二进一”的原则计数。例如，二进制数 101.01 可以表示为：

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

(3)十六进制： $R=16$ ，数码为 $0 \sim 9$ 和 $A \sim F$ ，采用“逢十六进一”的原则计数。例如，十六进制数 $789.AB$ 可以表示为：

$$789.AB = 7 \times 16^2 + 8 \times 16^1 + 9 \times 16^0 + A \times 16^{-1} + B \times 16^{-2}$$

在编写程序时，为了区分不同进制的数，通常在数字后面加字母作为标注。其中字母 D(Decimal)表示十进制，字母 B(Binary)表示二进制，字母 H(Hexadecimal)表示十六进制。通常，十进制的后缀 D 可省略。

(三)数制之间的转换

在编写程序的过程中，通常要用到各种不同进制之间的转换。

1. 十进制转换为二进制

把一个十进制数转换为二进制数，要分整数和小数两部分进行。整数部分按“除 2 取余，自低位向高位排列”的原则进行转换，小数部分按“乘 2 取整，自高位向低位排列”的原则进行转换。

例如，将十进制数 $185.625D$ 转换成二进制数，其转换过程为：

整数部分：

| | | | | |
|---|-----|-------|---|--|
| 2 | 185 | | 1 | <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; margin-right: 5px;">高位</div> <div style="border-left: 1px solid black; height: 100px; margin-left: 5px;"></div> <div style="writing-mode: vertical-rl; margin-left: 5px;">低位</div> </div> |
| 2 | 92 | | 0 | |
| 2 | 46 | | 0 | |
| 2 | 23 | | 1 | |
| 2 | 11 | | 1 | |
| 2 | 5 | | 1 | |
| 2 | 2 | | 0 | |
| 2 | 1 | | 1 | |
| | 0 | | | |

即十进制整数 $185D$ 转换为二进制数为 $10111001B$ ；

小数部分：

| | | |
|-------|---------|----|
| 0.625 | | |
| × 2 | | |
| 1.250 | 整数部分为 1 | 高位 |
| 0.250 | | ↓ |
| × 2 | | |
| 0.500 | 整数部分为 0 | |
| 0.500 | | |
| × 2 | | |
| 1.000 | 整数部分为 1 | 低位 |

即十进制小数 0.625D 转换为二进制小数为 0.101B。

因此，将十进制数 185.625D 转换成二进制数的转换结果为：

$$185.625D = 10111001.101B$$

应当指出：任何十进制整数都可以转换成一个二进制整数，但十进制小数却不一定可以精确转换成一个二进制小数。如果小数值不是 0，则还得继续乘下去，直至变成 0 或者满足精度要求为止。因此，一个十进制小数在转换为二进制小数时，有可能无法精确地转换，只能近似表示。

2. 十进制转换为十六进制

与十进制数转换为二进制数时类似，也分整数和小数两部分进行。整数部分按“除 16 取余，自低位向高位排列”的原则进行转换，小数部分按“乘 16 取整，自高位向低位排列”的原则进行转换。

例如，将十进制数 17 605.067 5 转换成十六进制数，其转换过程为：

整数部分：

| | | |
|------------|----------|----|
| 16 17605 | 5 | 高位 |
| 16 1100 | 12 | ↑ |
| 16 68 | 4 | |
| 16 4 | 4 | 低位 |
| 0 | | |

即十进制整数 17 605D 转换为十六进制数为 44C5H。

小数部分：

| | | |
|--------|---------|----|
| 0.0675 | | |
| × 16 | | |
| 1.0800 | 整数部分为 1 | 高位 |
| 0.0800 | | ↓ |
| × 16 | | |
| 1.2800 | 整数部分为 1 | |
| 0.2800 | | |
| × 16 | | |
| 4.4800 | 整数部分为 4 | |
| 0.4800 | | |
| × 16 | | |
| 7.6800 | 整数部分为 7 | 低位 |

即十进制小数 0.067 5 转换成十六进制小数(小数点后保留四位)为 0.114 7H。

因此, 将十进制数 17 605.067 5 转换成十六进制数(小数点后保留四位)的转换结果为: 17 605.067 5D=44C5.114 7H。

3. 二进制转换为十进制

将二进制数的各位乘以相应位的位权, 再相加, 即可得所求的十进制数。

例如, 将二进制数 101.011 转换成十进制数, 其转换过程为:

$$101.011\text{B}=1 \times 2^2+0 \times 2^1+1 \times 2^0+0 \times 2^{-1}+1 \times 2^{-2}+1 \times 2^{-3}=5.375$$

4. 十六进制转换为十进制

将十六进制数的各位乘以相应位的位权, 再相加, 即可得所求的十进制数。

例如, 将十六进制数 357.9AC 转换成十进制数, 其转换过程为:

$$357.9\text{ACH}=3 \times 16^2+5 \times 16^1+7 \times 16^0+9 \times 16^{-1}+10 \times 16^{-2}+12 \times 16^{-3}=855.604$$

5. 二进制转换为十六进制

从小数点开始, 分别向左(整数部分)和向右(小数部分), 每四位为一组, 不够四位时则在最高位(整数部分)或最低位(小数部分)补 0, 然后转换即可。

例如, 将二进制数 1010011.100101 转换成十六进制数, 其转换过程为:

$$1010011.100101\text{B}=0101\ 0011.1001\ 0100\text{B}=53.94\text{H}$$

6. 十六进制转换为二进制

将每位十六进制数表示为四位二进制数即可。

例如, 将十六进制数 345.ABC 转换成二进制数, 其转换过程为:

$$345.\text{ABCH}=0011\ 0100\ 0101.1010\ 1011\ 1100\text{B}=1101000101.1010101111\text{B}$$

二、数的运算

由于计算机内的运算都是以二进制来进行的, 所以此处只介绍二进制的运算规则。

(一)二进制的算术运算

二进制只有 0 和 1 两个数码, 运算规则也非常简单, 加法遵循“逢二进一”的原则, 减法遵循“借一当二”的原则。

(1)加法运算:

规则: $0+0=0$; $0+1=1$; $1+0=1$; $1+1=0$ (有进位); $1+1+1=1$ (有进位)。

【例 1-1】求 $1011\text{B}+1001\text{B}$ 。

$$\begin{array}{r} \text{被加数} \quad 1011 \\ \text{加数} \quad +1001 \\ \hline 10100 \end{array}$$

即 $1011\text{B}+1001\text{B}=10100\text{B}$

(2)减法运算:

规则: $0-0=0$; $1-0=1$; $1-1=0$; $0-1=1$ (有借位)。

【例 1-2】求 $1100\text{B}-0111\text{B}$ 。

$$\begin{array}{r} \text{被减数} \quad 1100 \\ \text{减数} \quad -0111 \\ \hline 0101 \end{array}$$

即 $1100\text{B}-0111\text{B}=0101\text{B}$

(3)乘法运算:

规则: $0 \times 0=0$; $0 \times 1=0$; $1 \times 0=0$; $1 \times 1=1$ 。

【例 1-3】求 $1011\text{B} \times 1101\text{B}$ 。

$$\begin{array}{r} \text{被乘数} \quad 1011 \\ \text{乘数} \quad \times 1101 \\ \hline \quad \quad \quad 1011 \\ \quad \quad 0000 \\ \quad 1011 \\ +1011 \\ \hline 10001111 \end{array}$$

即 $1011\text{B} \times 1101\text{B}=10001111\text{B}$

(4)除法运算:

规则: $0/1=0$; $1/1=1$; 0 不能作除数。

其余运算规则同十进制的除法运算类似。

(二)二进制的逻辑运算

计算机内常用的逻辑运算主要有与运算、或运算、非运算、异或运算。

(1)与运算(运算符号为 \cdot 或 \wedge):

规则: $0 \cdot 0=0$; $0 \cdot 1=0$; $1 \cdot 0=0$; $1 \cdot 1=1$ 。

【例 1-4】 $X=1011\text{B}$, $Y=1010\text{B}$, 求与运算 $X \cdot Y$ 。

$$\begin{array}{r} 1011 \\ \cdot 1010 \\ \hline 1010 \end{array}$$

即 $X \cdot Y=1010\text{B}$

(2)或运算(运算符号为 $+$ 或 \vee):

规则: $0+0=0$; $0+1=1$; $1+0=1$; $1+1=1$ 。

【例 1-5】 $X=1011\text{B}$, $Y=1010\text{B}$, 求或运算 $X+Y$ 。

$$\begin{array}{r} 1011 \\ +1010 \\ \hline 1011 \end{array}$$

即 $X+Y=1011\text{B}$

(3)非运算(运算符号为 $\bar{\quad}$ 或 \neg):

规则: $\bar{0}=1$; $\bar{1}=0$ 。

【例 1-6】 $X=1011\text{B}$, 求 \bar{X} 。

$$\bar{X}=\bar{1011}=0100\text{B}$$

(4)异或运算(运算符号为 \oplus):

规则: $0 \oplus 0=0$; $0 \oplus 1=1$; $1 \oplus 0=1$; $1 \oplus 1=0$ 。

【例 1-7】 $X=1011\text{B}$, $Y=1010\text{B}$, 求异或运算 $X \oplus Y$ 。

$$\begin{array}{r} 1011 \\ \oplus 1010 \\ \hline 0001 \end{array}$$