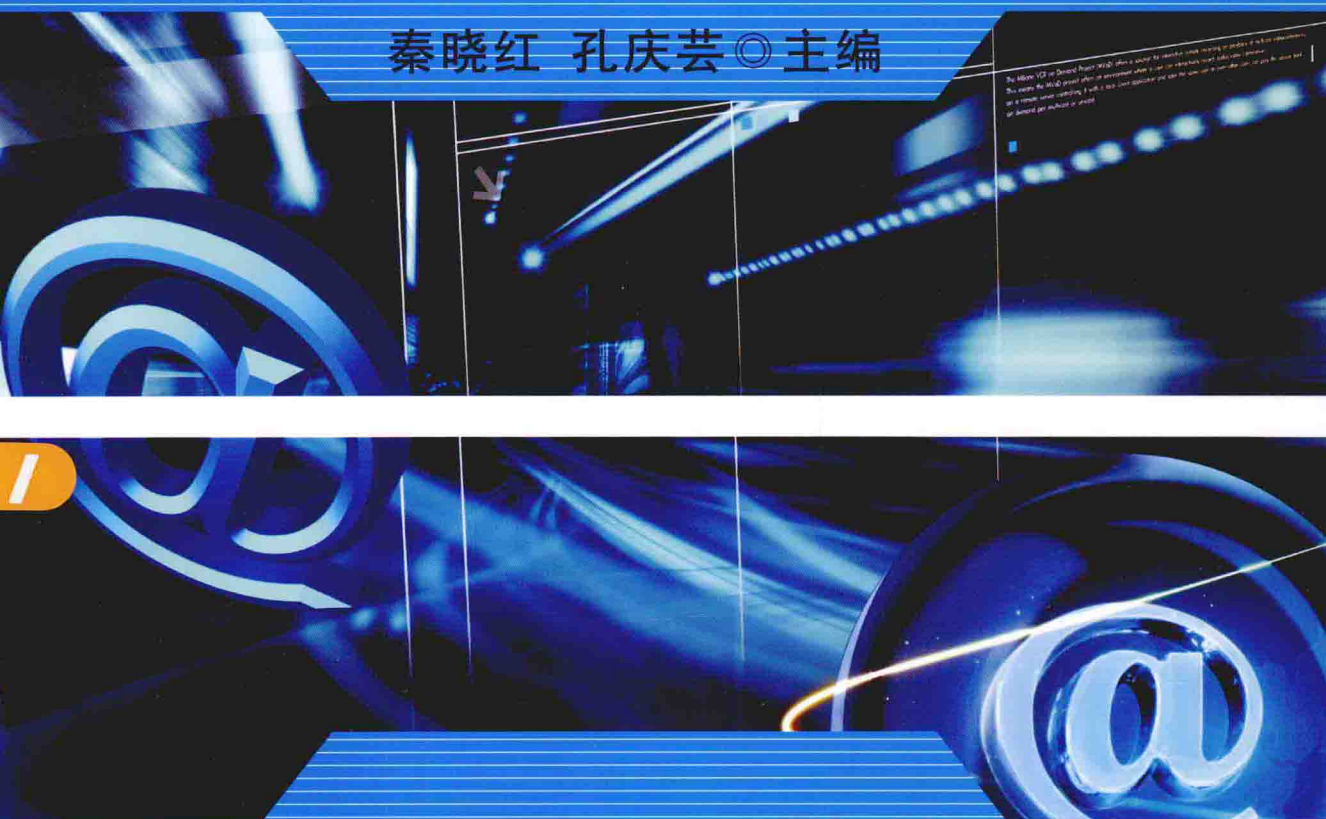


高等学校教材



# 微型计算机原理及应用

秦晓红 孔庆芸◎主编



西北工业大学出版社

高等学校教材

# 微型计算机原理及应用

秦晓红 孔庆芸 主编

秦晓红 孔庆芸 孙蓬 陆艳洪 编

西北工业大学出版社

**【内容简介】** 本书系统、全面地介绍了微型计算机的基本原理及应用技术。具体内容包括计算机的基本知识、32 位微型计算机的基本体系结构、指令系统、汇编语言程序设计、存储器的管理、输入/输出接口技术、中断系统、可编程接口芯片、模/数和数/模转换技术、常用总线 and 微型计算机的应用。重点对计算机硬件功能、工作原理、接口电路以及软件设计方法做了较详细的阐述。全书共分为 11 章,为了便于学生更好地掌握各章的知识,每章规定了学习基本要求,指出了本章知识要点以及知识结构框图,章末配有习题与思考题。

本书轻理论、重实践,注重微机系统应用方面的知识。通过大量实例来提高学习者分析问题和解决问题的能力。

本书适合在职成人学习或者作为高等学校本科生的教材,亦可供工程技术人员参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

微型计算机原理及应用/秦晓红,孔庆芸主编. —西安:西北工业大学出版社,2014.10  
ISBN 978-7-5612-4171-4

I. ①微… II. ①秦… ②孔… III. ①微型计算机—理论 IV. ①TP36

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 241650 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:<http://www.nwpup.com>

印 刷 者:陕西宝石兰印务有限责任公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:19.25

字 数:471 千字

版 次:2014 年 10 月第 1 版 2014 年 10 月第 1 次印刷

定 价:39.00 元

# 前 言

“微型计算机原理及应用”是自动化、通信工程、电子信息以及其他电气信息类专业的一门重要的专业基础课。随着计算机技术的不断发展以及用人单位对硬件人才的更高要求,各高校迫切需要适合新形势的相关教材。为此,笔者根据多年的一线教学经验,结合目前微机的特点,考虑到当前学生对微型计算机原理教材的需要,着手编写了本书。

本书有如下特点:①结构清晰,知识完整。本书围绕微型计算机的基本体系结构展开阐述,从 CPU、指令系统及汇编程序设计、存储器、接口技术到常用总线,环环相扣,知识体系清晰完整。②实例丰富,实用性强。通过大量的实例分析与讲解,突出所学知识的实用性,便于学习者提高实际应用能力。③易学易懂,知识点明确。本书力求做到深入浅出,将复杂的概念通过简洁浅显的语言娓娓道来。

本书系统、全面地介绍了微型计算机的基本原理和应用技术。全书共分为 11 章,具体内容如下:

第 1 章主要介绍微型计算机的基本结构、数制及转换、计算机中带符号数的原码、反码、补码表示方法、补码运算时溢出判别、计算机中数的定点表示法和浮点表示法、常用的二进制编码 BCD 码及 ASCII 码、逻辑运算及基本逻辑电路。

第 2 章主要介绍 32 位 Intel CPU 的基本结构及外部引脚、通用寄存器、段寄存器、专用寄存器、CPU 的 3 种工作方式、指令流水线技术、逻辑地址和物理地址的关系。

第 3 章主要介绍 80×86 系统的各种寻址方式,包括立即寻址、寄存器寻址、存储器寻址;80×86 的指令系统,包括数据传送指令、算术运算指令、逻辑运算指令、串操作指令、控制转移类指令、输入输出指令等的功能和用法。

第 4 章主要介绍汇编语言的基本语法规则和格式,汇编语言中常用的伪指令和 DOS 功能调用,顺序、分支、循环、子程序设计的基本方法。

第 5 章主要介绍存储器的基本知识以及存储器的分类,内存储器的分段管理与分页管理,逻辑地址、线性地址、物理地址之间的地址变换过程。

第 6 章主要介绍 I/O 接口的基本功能,I/O 端口的寻址方式,I/O 端口的地址形成,CPU 与外设通信时的输入/输出方式以及各方式的优缺点,各种方式下的接口技术,重点介绍了同步方式和异步查询方式下的接口技术。

第 7 章主要介绍中断的有关概念,可编程中断控制器芯片 8259A 的功能、结构、初始化编程及应用。

第 8 章主要介绍 3 个常用的可编程接口芯片的结构及其与微处理器的接口方式,包括常用的并行接口芯片 8255A,计数器/定时器 8254,串行接口芯片 8251A,通过编程进行初始化及操作控制。

第 9 章主要介绍 D/A 与 A/D 转换的基本原理、主要性能参数,几种典型的 D/A 和 A/D 转换芯片的结构、工作方式、与 CPU 的接口,在与 CPU 接口时应该注意的问题以及选择 D/A 与 A/D 芯片的依据。

第 10 章主要介绍总线的有关概念,包括总线的定义、分类、总线传输方式等,详细介绍了目前应用广泛的几种典型的总线标准。

第 11 章主要介绍微型计算机的应用领域和应用中的主要技术问题。

本书第 1,3~5 章由孔庆芸编写,第 2 章由孙蓬编写,第 6~9,11 章由秦晓红编写,第 10 章由陆艳洪编写,全书由秦晓红统稿。

在本书编写过程中,得到了西北工业大学计算机学院基础教学部各位老师的支持,也得到了西北工业大学出版社杨军的大力支持,在此表示衷心的感谢!

由于微机发展迅速,笔者水平有限,书中难免有疏漏和不足之处,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

2014 年 6 月

# 目 录

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 第 1 章 绪论              | 1   |
| 1.1 概述                | 1   |
| 1.2 运算基础              | 5   |
| 1.3 微型计算机的基本结构        | 21  |
| 1.4 多媒体计算机            | 29  |
| 习题与思考题                | 31  |
| 第 2 章 Intel 32 位 CPU  | 33  |
| 2.1 CPU 的基本结构         | 34  |
| 2.2 寄存器               | 40  |
| 2.3 CPU 的工作模式         | 48  |
| 2.4 指令流水线操作           | 50  |
| 2.5 Pentium 32 位微处理器  | 52  |
| 习题与思考题                | 55  |
| 第 3 章 80×86 寻址方式和指令系统 | 56  |
| 3.1 80×86 寻址方式        | 56  |
| 3.2 80×86 指令格式        | 67  |
| 3.3 80×86 指令系统        | 68  |
| 习题与思考题                | 93  |
| 第 4 章 汇编语言及其程序设计      | 95  |
| 4.1 概述                | 95  |
| 4.2 汇编语言              | 98  |
| 4.3 分支程序设计            | 100 |
| 4.4 循环程序设计            | 104 |
| 4.5 子程序设计             | 107 |
| 4.6 汇编语言程序上机过程        | 109 |
| 习题与思考题                | 109 |
| 第 5 章 内存储器及其管理        | 111 |
| 5.1 存储器概述             | 111 |
| 5.2 存储器的扩展设计          | 113 |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| 5.3 80486 存储器管理模式 .....           | 120        |
| 习题与思考题 .....                      | 126        |
| <b>第 6 章 输入/输出接口技术 .....</b>      | <b>127</b> |
| 6.1 输入/输出接口概述 .....               | 127        |
| 6.2 输入/输出方式 .....                 | 131        |
| 6.3 CPU 与外设通信的接口 .....            | 132        |
| 习题与思考题 .....                      | 149        |
| <b>第 7 章 中断系统 .....</b>           | <b>151</b> |
| 7.1 中断的有关概念 .....                 | 151        |
| 7.2 可编程中断控制器 8259A .....          | 161        |
| 习题与思考题 .....                      | 178        |
| <b>第 8 章 可编程接口芯片 .....</b>        | <b>179</b> |
| 8.1 概述 .....                      | 179        |
| 8.2 可编程并行接口芯片 8255A .....         | 180        |
| 8.3 可编程计数器/定时器 8254 .....         | 198        |
| 8.4 可编程串行输入/输出接口芯片 8251A .....    | 212        |
| 习题与思考题 .....                      | 229        |
| <b>第 9 章 D/A 与 A/D 转换技术 .....</b> | <b>232</b> |
| 9.1 概述 .....                      | 232        |
| 9.2 D/A 转换器 .....                 | 233        |
| 9.3 A/D 转换器 .....                 | 243        |
| 9.4 D/A 和 A/D 器件的选择 .....         | 258        |
| 习题与思考题 .....                      | 259        |
| <b>第 10 章 总线技术 .....</b>          | <b>261</b> |
| 10.1 概述 .....                     | 261        |
| 10.2 常用总线介绍 .....                 | 266        |
| 习题与思考题 .....                      | 287        |
| <b>第 11 章 微型计算机的应用 .....</b>      | <b>289</b> |
| 11.1 微型计算机的应用领域 .....             | 289        |
| 11.2 微型计算机的应用举例 .....             | 291        |
| 习题与思考题 .....                      | 299        |
| <b>参考文献 .....</b>                 | <b>302</b> |

# 第 1 章 绪 论

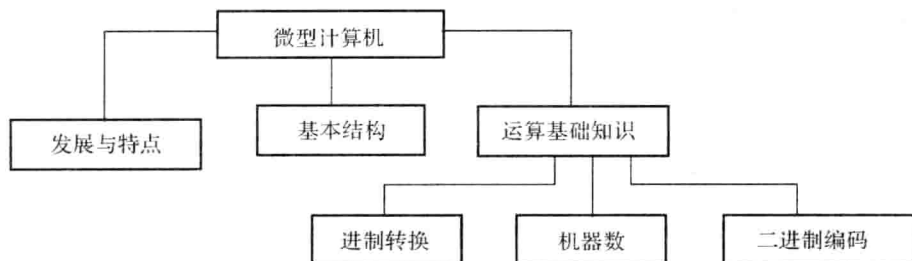
## \* 学习基本要求

通过本章的学习,需要掌握微型计算机的基本结构和基本运算知识。

## \* 内容要点

本章必须要理解的知识点:微型计算机的基本结构,数制及转换,计算机中带符号数的原码、反码、补码表示方法,补码运算时溢出判别,计算机中数的定点表示法和浮点表示法,常用的二进制编码 BCD 码及 ASCII 码,逻辑运算及基本逻辑电路。

## \* 知识结构框图



## 1.1 概 述

计算机是一种能够自动完成运算的电子装置,其所以能够自动完成运算,是因为它能够存储程序和原始数据、中间结果及运算最终结果。存储程序和采用二进制运算奠定了冯·诺依曼结构的计算机的设计思想,无论计算机技术怎么发展,这一点是相对不变的。

显然,计算机不同于一般的计算工具(如计算器等),因为一般的计算工具离不开人的直接干预。

### 1.1.1 微型计算机的发展概况

1946 年在美国诞生了世界上第一台电子计算机 ENIAC,该机字长为 12 位,每秒完成 5 000 次加法运算,它使用了 18 800 个电子管、70 000 个电阻、1 000 个电容、6 000 个开关,占地约为 170m<sup>2</sup>,耗电 150kW,重量达 30t。这个庞然大物被称作第一代电子计算机,为当今的电子计算机奠定了基础。1958 年至 1964 年,用晶体管取代电子管,称为第二代电子计算机,它不仅大大缩小了计算机的体积,而且还降低了成本,同时将运算速度提高了近百倍。1965 年集成电路问世,形成了中、小规模集成电路构成的第三代计算机。1970 年出现了以大规模集成电路为主体的第四代计算机,这是大规模集成电路迅猛发展的产物。所谓第五代计算机,其目标主要是采用超大规模集成电路,在系统结构上类似人脑的神经网络,在材料上使用常温超导材料和光器件,在计算机结构上采用超并行的数据流计算等。

由于在一块芯片上可集成上千万个电子元件,因而使电子计算机的体积大为缩小,这就促使了微型计算机的问世。因为微型计算机具有体积小、功耗低、重量轻、价格低、可靠性高、使用方便等一系列优点,因此获得了广泛的应用和迅速的发展。自微型计算机于1971年问世以来,大约每隔2~4年就更新换代一次,至今已经历了多个阶段的演变。

#### 1. 第一代(1971—1973年)

第一代为4位和低档8位微处理器及微型计算机。美国Intel公司首先研制成功4位的4004微处理器,以它为核心再配以RAM、ROM和I/O接口芯片就构成了MCS-4微型计算机。随后又研制出8位的8008微处理器及MCS-8微型计算机,其特点是指令系统简单,运算功能较差,速度较慢(平均指令执行时间约为20  $\mu$ s)。

#### 2. 第二代(1973—1978年)

第二代为中档8位微处理器和微型计算机。其间又分为两个阶段。1973—1975年为典型的第二代,以美国Intel公司的8080和Motorola公司的MC6800为代表,集成度提高1~2倍,运算速度提高一个数量级。1976—1978年为高档的8位微型计算机阶段,被称为第二代半微型计算机,代表产品是美国Zilog公司的Z80和Intel公司的8085微处理器,集成度和运算速度都比典型的第二代提高1倍以上。

#### 3. 第三代(1978—1981年)

第三代为16位微处理器和微型计算机,又称为第一代超大规模集成电路的微处理器。其代表产品是Intel公司的8086/8088, Zilog公司的Z8000和Motorola公司的M68000。这些16位微型计算机都具有丰富的指令系统,并配有强有力的软件系统,时钟频率为4~8 MHz,平均指令执行时间为0.5  $\mu$ s。

#### 4. 第四代(1981—1993年)

第四代为高性能的16位机与32位微处理器和微型计算机。其代表产品是Intel公司的80386和Motorola公司的68020,时钟频率达16~20 MHz,平均指令执行时间约为0.1  $\mu$ s。通常称这类微处理器构成的微型计算机为超级微型机。Intel公司又相继开发出了80486, 80586等微处理器。

与此同时, Motorola公司也推出了32位微处理器M68020, HP公司推出了HP32, IBM公司推出了IBM320, Zilog公司推出了Z80000,等等。

#### 5. 第五代32位高档处理器(1993—1996年)

1993年, Intel公司推出了32位处理器Pentium(以P5代称)。它集成了330万个晶体管,内部采用4级超标量结构,数据线64位,地址线36位。工作频率为60/66 MHz,处理速度达110 MIPS。由于第一代Pentium采用0.8  $\mu$ m工艺技术和5V电源驱动,因而使得芯片尺寸较大,成本过高,其功耗达15W,使系统散热成为问题。1994年3月, Intel公司推出了第二代Pentium(以P54C代称)。P54C采用0.6  $\mu$ m工艺和3.3V电源,功耗仅为4W,而且可在不需要时自动关闭浮点单元,散热问题基本得以解决。P54C的主时钟为100 MHz和90 MHz两种。常规配置下, P54C系统的处理能力比P5系统高出了40%。在体系结构上, Pentium在内核中采用了RISC技术。

同期推出的第五代微处理器还有IBM, Apple和Motorola三家联盟的Power PC(这是一种完全的RISC微处理器),以及AMD公司的K5和Cyrix公司的M1等。

#### 6. 第六代微处理器(1996年以后)

1996年, Intel公司推出了Pentium Pro微处理器(也将此后的微处理器称为第六代)。该处理器的集成电路采用了 $0.35\mu\text{m}$ 的工艺, 时钟频率为200MHz, 运算速度达200MIPS。Pentium Pro的两个显著特点是: 内部集成了16KB的一级(L1)高速缓冲存储器和256KB的二级(L2)高速缓冲存储器; 使用3个执行部件, 可同时执行3条命令。

从1997年后, Intel又进一步推出了一系列新的Pentium型微处理器: Pentium II, Pentium III和Pentium 4。其他公司类似的产品还有AMD的K7。这些CPU的集成度已高达近千万个晶体管, 时钟频率也达到了1GHz以上。Pentium 4 CPU, 工作频率已达3.2GHz。

#### 7. Intel超线程处理器

Intel公司于2002年推出了具有超线程技术的IA-32系列处理器。超线程(Hyper Thread, HT)技术允许单个物理处理器用共享的执行资源并发地执行两个或多个代码流(线程), 以提高80×86系列处理器执行多线程操作系统与应用程序代码的性能。

从体系结构上说, 支持HT技术的IA-32处理器, 在一个物理处理器核中由两个或多个逻辑处理器构成, 每个逻辑处理器有它自己的IA-32体系结构状态。每个逻辑处理器由全部的IA-32数据寄存器、段寄存器、控制寄存器与大部分的机器状态寄存器(MSR)构成。

#### 8. Intel双核技术处理器

2005年, Intel公司推出了使用双核技术的奔腾处理器极品版840 IA-32处理器。这是IA-32处理器系列中引入双核技术的第一个成员, 此处理器用双核技术与超线程一起提供硬件多线程支持。双核技术是在IA-32处理器系列中硬件多线程能力的另一种形式, 双核技术用单个物理包中的两个执行核心提供硬件多线程能力。因此, Intel Pentium处理器极品版在一个物理包中提供4个逻辑处理器(每个处理器核有两个逻辑处理器)。

Intel Pentium D处理器也以双核技术为特色。此处理器用双核技术提供硬件多线程支持, 但它不提供超线程技术。因此, Intel Pentium D处理器在一个物理包中提供两个逻辑处理器, 每个逻辑处理器拥有处理器核的执行资源。

Intel Pentium处理器极品版中引入了Intel扩展的存储器技术(Intel EM64T), 线性地址空间增加至64位并支持40位物理地址空间。此技术也引入了称为IA-32e模式的新的操作模式。

IA-32e模式在两种子模式之一上操作:

- 兼容模式允许64位操作系统不修改地运行大多数32位软件。
- 64位模式允许64位操作系统运行应用程序访问64位地址空间。

Intel EM64T的处理器可以支持80×86系列软件, 因为它能运行在非64位传统模式。大多数已存在的IA-32应用程序也能在兼容模式下运行。

微处理器的迅速发展和更新换代, 使基于微处理器的微型计算机的性能不断提高。

所谓微处理器( $\mu\text{PU}$ ), 是把运算器和控制器集成在一个芯片上, 又称CPU。

所谓微型计算机, 是把微处理器(CPU)配上一定容量的半导体随机存储器(RAM)、半导体只读存储器(ROM)及接口电路、必要的外设组成的。

所谓微型计算机系统, 是指硬件系统和软件系统的总称。硬件系统包括微型计算机、时

钟、电源等,软件系统包括系统软件和应用软件。

所谓单板机,是把 CPU、一定数量的存储器芯片和 I/O 接口芯片装在一块印刷电路板上,在该板上再配以具有一定功能的输入/输出设备(如小键盘等)。

所谓单片机,是把 CPU、一定容量的存储器和必要的 I/O 接口电路集成在一个硅片上。有的单片机还包括模/数(A/D)、数/模(D/A)转换器。

微型计算机不但向小型化方向发展,而且向巨型化方向发展,以获得基于微型机体系结构。

### 1.1.2 微型计算机的特点和分类

#### 1. 微型计算机的特点

由于微型计算机广泛采用了集成度相当高的器件和部件,因此,带来以下一系列特点。

(1)体积小、重量轻、耗电省。由于采用大规模集成电路和超大规模集成电路,因而使微型机所含的器件数目大为减少,体积大为缩小。微型机大量地采用大规模集成专用芯片(ASIC)和通用可编程门阵列(GAL)器件,使得微型机的体积明显缩小。而微型机中的芯片大多采用 MOS 和 CMOS 工艺,因此耗电量就很小。在航空、航天等部门中这一特点使过去无法实现的某些应用领域,现在利用微型机就可很容易实现。

(2)可靠性高。由于微处理器及其配套系列芯片采用大规模集成电路,减少了大量的焊点,简化了外接线和外加逻辑,因而大大提高了可靠性。

(3)系统设计灵活,使用方便。由于微处理器芯片及其可选用的支持逻辑芯片都有标准化、系统化的产品,同时又有许多有关的支持软件可选用,用户可根据不同的要求构成不同规模的系统。

(4)价格低廉。由于微处理器及其配套系列芯片采用集成电路工艺,集成度高,因而产品造价十分低廉。

(5)维护方便。由于微处理器及其系统产品已逐渐趋于标准化、模块化和系列化,从硬件结构到软件配置都作了较全面的考虑,因而一般可用自检诊断及测试发现系统故障。发现故障后,可方便地更换标准化模块芯片来排除故障。

#### 2. 微型计算机的分类

可以从不同角度对微型计算机进行分类:

- 按微处理器的字长,可分为 4 位、8 位、16 位、32 位、64 位微型计算机。
- 按微型计算机的组装形式,可分为单片、单板、多板微型计算机等。
- 按应用领域不同,又可分为控制用、数据处理用微型计算机等。
- 按微处理器的制造工艺,又可分为 MOS 型器件和双极型器件两大类。

### 1.1.3 微处理器的字长

字长,是计算机字所含二进制位数。计算机字也就是作为一个整体被一次传送或运算最多的二进制数位。它和计算机能够处理二进制信息的位数是两个概念。如 32 位数和 32 位数相加,用 8 位机需加 4 次,用 16 位机需加 2 次,用 32 位机只加 1 次即可。很显然,32 位机的速度要快得多。字长是对某一型号的机器而言的。

字节,无论对哪个厂家、哪种型号的计算机,都指的是 8 位二进制信息。

## 1.2 运算基础

### 1.2.1 进位计数制及其相互转换

#### 1. 进位计数制

凡是按进位的方式计数的数制称为进位计数制,简称进位制。数据无论使用哪种进位制表示,都涉及基数(Radix)与各位数的“权”(Weight)。所谓某进位制的基数是指该进位制中允许选用的基本数码的个数。对任意进位制数都可以写成按权展开的多项式和的形式:

$$K = K_{n-1} \times R^{n-1} + K_{n-2} \times R^{n-2} + \cdots + K_1 \times R^1 + K_0 \times R^0 + K_{-1} \times R^{-1} +$$

$$K_{-2} \times R^{-2} + \cdots + K_{-m} \times R^{-m} = \sum_{i=-m}^{n-1} K_i \times R^i$$

式中  $i$ ——数位;

$m, n$ ——正整数;

$R$ ——基数;

$K_i$ ——第  $i$  位数码。

总之,进位计数法的数制均有以下几个主要特点:

(1) 数码个数等于基数,最大数码比基数小 1;

(2) 每个数码都要乘以基数的幂次,而该幂次是由每个数所在的位置决定的,即“位权”,简称权;

(3) 低位向高位的进位是“逢基数进 1”。

#### 2. 几种常用的进位制

在计算机中采用二进制计数法,但在编程时,为了书写方便,常采用八进制或者十六进制数,特别是十六进制数。因为它们和二进制数之间有一种特殊的“缩写”关系,因此得到广泛使用。而人们日常生活最习惯使用的是十进制数,这样它们之间就存在着一种对应转换关系。

(1) 十进制数(Decimal Notation)。它有以下 3 个特点:

1) 10 个数码,即 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9。

2) 在数的表示中,每个数码都要乘以基数 10 的幂次,而此幂次是由该数码所在位置决定的。

**例 1.1**  $555.5D = (555.5)_{10} = 5 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 5 \times 10^0 + 5 \times 10^{-1}$

D 可以省略。可以看出同样的数码在不同的位置(权不一样)所表示的数值不一样。

3) 低位向高位的进位是逢 10 进 1。

(2) 二进制数(Binary Notation)。它有以下 3 个特点:

1) 2 个数码,即 0 和 1。

2) 在数的表示中,每个数码都要乘以基数 2 的幂次,而此幂次是由该数码所在位置决定的。

**例 1.2**  $101.1B = (101.1)_2 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1}$

B 不能省略。

3) 低位向高位的进位是逢 2 进 1。

由于二进制数还具有以下独特的性质,所以奠定了当代计算机的设计基础:

- 具有两个不同的数码,很容易找到具有两个稳定的物理状态来实现它。
- 整个数向左移一位,数值增大一倍,反之,向右移一位,数值就减小一半。
- 对于二进制整数,若最低位是 1 则为奇数,是 0 则为偶数。

二进制数运算规则简单,如

$$0+0=0;$$

$$0+1=1;$$

$$1+0=1;$$

$$1+1=0, \text{向上进位 } 1。$$

也就是说,两个一位二进制数相加,相同则本位和为 0,不相同则本位和为 1;只有在都为 1 时才有进位。本位和恰好是异或二值逻辑的关系,进位则是二值逻辑与的关系。这样,在计算机里,是把二进制数的运算用逻辑运算来实现的,因此 CPU 是由一些组合逻辑电路(实现一定逻辑关系的门电路)和时序逻辑电路(能够存储二进制信息的电路)组成的。

(3)八进制数(Octal Notation)。它有以下 3 个特点:

1)有 8 个数码,即 0,1,2,3,4,5,6,7。

2)在数的表示中,每个数码都要乘以基数 8 的幂次,而此幂次是由该数码所在位置决定的。

**例 1.3**  $35.7Q = (35.7)_8 = 3 \times 8^1 + 5 \times 8^0 + 7 \times 8^{-1}$

Q 不能省略。这里用 Q 而不用 O 是为避免把字母 O 误作数字 0。

3)低位向高位的进位是逢 8 进 1。

(4)十六进制数(Hexadecimal Notation)。它有以下 3 个特点:

1)有 16 个数码,即 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,A,B,C,D,E,F。

2)在数的表示中,每个数码都要乘以基数 16 的幂次,而此幂次是由该数码所在位置决定的。

**例 1.4**  $5BD.3H = (5BD.3)_{16} = 5 \times 16^2 + 11 \times 16^1 + 13 \times 16^0 + 3 \times 16^{-1}$

**例 1.5**  $0FEA.C8H = (FEA.C8)_{16} = 15 \times 16^2 + 14 \times 16^1 + 10 \times 16^0 + 12 \times 16^{-1} + 8 \times 16^{-2}$

H 不能省略。第一个数码为字母时,前面要加数字 0,避免把十六进制数误作变量或标号名(变量和标号在后面汇编语言章节中说明)。

3)低位向高位的进位是逢 16 进 1。

### 3. 数制之间的转换关系

(1)任意进制数转换成十进制数。任意进制数转换成十进制数就是该数按权展开多项式之和。

**例 1.6** 二进制数 101.1B 转换成十进制数。

$$101.1B = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} = 4 + 0 + 1 + 0.5 = 5.5$$

其他进制数同理。

(2)十进制数转换成任意进制数。

1)整数转换。整数转换法就是除基数取余数法,第一次得到的余数为最低位,最后得到的余数为最高位。

**例 1.7**  $(28)_{10} = (?)_2$

$$\begin{array}{r|l}
 2 & 28 \\
 \hline
 2 & 14 \\
 \hline
 2 & 7 \\
 \hline
 2 & 3 \\
 \hline
 2 & 1 \\
 \hline
 & 0
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \text{余数} \\
 0 \\
 0 \\
 1 \\
 1 \\
 1
 \end{array}$$

最后转换的结果是  $28D=11100B$ 。

其他进制数同理。

2) 小数转换。小数转换法就是乘基数取整数法,第一次得到的整数为小数的最高位,直到十进制小数部分乘积为 0 时停止,最后得到的是转换结果的小数最末位(若出现无限循环,可按要求取小数点后几位即可)。

例 1.8  $(0.125)_{10}=(?)_2$

$$\begin{array}{r|l}
 & 0.125 \\
 \times & 2 \\
 \hline
 & 0.250 \\
 \times & 2 \\
 \hline
 & 0.500 \\
 \times & 2 \\
 \hline
 & 1.000
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \text{取整数部分} \\
 0 \\
 0 \\
 1
 \end{array}$$

最后转换结果是  $0.125D=0.001B$ 。

其他进制数同理。

(3) 二进制、八进制和十六进制之间的转换。这 3 种进制表示的数据之间的转换十分方便,因为每 3 个二进制位正好对应 1 个八进制位,每 4 个二进制位可以变换成 1 个十六进制位。表 1-1 给出一组基本的对应关系。

表 1-1 二进制、八进制和十六进制基本对应关系

| 二进制数 | 八进制数 | 十六进制数 | 十进制数 |
|------|------|-------|------|
| 0000 | 00   | 0     | 0    |
| 0001 | 01   | 1     | 1    |
| 0010 | 02   | 2     | 2    |
| 0011 | 03   | 3     | 3    |
| 0100 | 04   | 4     | 4    |
| 0101 | 05   | 5     | 5    |
| 0110 | 06   | 6     | 6    |
| 0111 | 07   | 7     | 7    |
| 1000 | 10   | 8     | 8    |
| 1001 | 11   | 9     | 9    |
| 1010 | 12   | A     | 10   |
| 1011 | 13   | B     | 11   |
| 1100 | 14   | C     | 12   |
| 1101 | 15   | D     | 13   |
| 1110 | 16   | E     | 14   |
| 1111 | 17   | F     | 15   |

把二进制数转换成八进制或十六进制数时,按每 3 位或每 4 位二进制位分组,应保证从小数点所在位置分别向左和向右进行划分,若整数部分的位数不是 3 或 4 的整数倍,可按在数的最左侧补 0 的方法处理,对小数部分则按在数的右侧补 0 的方法处理。

**例 1.9** 将二进制数 1011011.10101B 分别转换成八进制数和十六进制数。

$$1011011.10101\text{B}=001,011,011.101,010\text{B}=133.52\text{Q}$$

$$1011011.10101\text{B}=0101,1011.1010,1000\text{B}=5\text{B}.A8\text{H}$$

**例 1.10** 将十进制数 25.625 转换为二进制数、八进制数及十六进制数。

**解** 十进制数转换为二进制数时,对于整数部分,采用除 2 取余数法,即逐次用 2 去除要转换的十进制数,直至商为 0,每次所得的余数即为二进制数码,最先得到的为整数的最低有效位  $K_0$ ,最后得到的是整数的最高有效位  $K_{n-1}$ 。对于小数部分,采用乘 2 取整数法,即逐次用 2 去乘要转换的十进制小数,将每次所得的整数 0 或 1,依次记作  $K_{-1}, K_{-2}, \dots$ 。注意,十进制小数并不是都能用有限位的二进制数精确地表示,这时只要根据精度要求,转换到一定的位数即可。

| 2      | 余数      | 整数                                 |
|--------|---------|------------------------------------|
| 2   25 |         |                                    |
| 2   12 | $K_0=1$ | $0.625 \times 2 = 1.25$ $k_{-1}=1$ |
| 2   6  | $K_1=0$ | $0.25 \times 2 = 0.5$ $k_{-2}=0$   |
| 2   3  | $K_2=0$ | $0.5 \times 2 = 1$ $k_{-3}=1$      |
| 2   1  | $K_3=1$ |                                    |
| 0      | $K_4=1$ |                                    |

故 25.625 对应的二进制数为 11001.101B。

八进制、十六进制和二进制之间的转换是非常简单的,分别按 3 位、4 位二进制数对应转换即可。方法是以小数点为界,整数部分自右至左,小数部分自左至右分组,若转换为八进制,3 位为一组,若转换为十六进制,4 位为一组,不足时补 0。

本例中:

$$11001.101\text{B}=011\ 001.101\text{B}=31.5\text{Q}$$

$$11001.101\text{B}=0001\ 1001.1010\text{B}=19.\text{AH}$$

所以,25.625 对应的二进制数、八进制数及十六进制数分别为 11001.101B, 31.5Q, 19.AH。

**例 1.11** 将二进制数 10110B,八进制数 125Q 及十六进制数 5AF.8H 转换为十进制数。

**解** 将非十进制数转换为十进制数时,一般是按其定义展开为多项式,将系数与权用十进制表示,然后进行相应的四则运算即可得到运算结果。

$$10110\text{B}=1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = 16 + 0 + 4 + 2 + 0 = 22\text{D}$$

$$125\text{Q}=1 \times 8^2 + 2 \times 8^1 + 5 \times 8^0 = 64 + 16 + 5 = 85\text{D}$$

$$5\text{AF}.8\text{H}=5 \times 16^2 + 10 \times 16^1 + 15 \times 16^0 + 8 \times 16^{-1} = 1\ 280 + 160 + 15 + 0.5 = 1\ 455.5\text{D}$$

### 1.2.2 二进制数的运算规则

采用二进制实现各种算术与逻辑运算,是因为二进制数每一位都仅有 0 和 1 两个状态,实现它的物理器件很容易找到,它很好地对应着半导体器件的饱和与截止、电流的有和无、电位的高与低等。另外二进制数运算规则简单,容易用逻辑电路实现。

## 1. 加法规则

$$0+0=0;$$

$$0+1=1;$$

$$1+0=1;$$

$$1+1=0 \text{ 且向高位产生进位 } 1。$$

## 例 1.12

$$\begin{array}{r} 1101\text{B} \\ +1001\text{B} \\ \hline 10110\text{B} \end{array}$$

最高位产生向上进位 1。

## 2. 减法规则

$$0-0=0;$$

$$0-1=1 \text{ 且向高位产生借位 } 1;$$

$$1-0=1;$$

$$1-1=0。$$

## 例 1.13

$$\begin{array}{r} 0110\text{B} \\ -1101\text{B} \\ \hline 1001\text{B} \end{array}$$

最高位产生向上借位 1。

## 3. 乘法规则

$$0 \times 0 = 0;$$

$$0 \times 1 = 0;$$

$$1 \times 0 = 0;$$

$$1 \times 1 = 1。$$

可以看出,乘数为 0 时,其结果为 0;乘数为 1 时,其结果等于被乘数。

## 例 1.14

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

## 4. 除法规则

$$0 \div 0 \text{ 非法,除数不能为 } 0;$$

$$1 \div 0 \text{ 非法,除数不能为 } 0;$$

$$0 \div 1 = 0;$$

$$1 \div 1 = 1。$$

### 例 1.15

$$\begin{array}{r}
 1101\text{B} \\
 1001\text{B} \sqrt{1110101\text{B}} \\
 \underline{-1001} \phantom{00000000} \\
 01011 \phantom{00000000} \\
 \underline{-1001} \phantom{00000000} \\
 00100 \phantom{00000000} \\
 \underline{-0000} \phantom{00000000} \\
 01001 \phantom{00000000} \\
 \underline{-1001} \phantom{00000000} \\
 0
 \end{array}$$

### 1.2.3 计算机中的四则运算

在计算机里完成二进制数的四则运算最终都是进行加法运算,所以在 CPU 内部只有加法器。它把减法运算通过加补码来实现,把乘法运算通过部分积右移加被乘数或 0 实现,把除法运算通过部分余数左移加除数补码或 0 实现。减法用加补码实现,在后面讲到补码时再加以说明。这里仅对实现乘法运算加以说明。

如前所举之例  $1011\text{B} \times 1101\text{B} = 10001111\text{B}$ 。

从前面相乘的过程来看,类似于十进制数相乘的规律。但用计算机按此规律实现就不容易了。因为  $n$  位数乘  $n$  位数要完成  $n$  个  $2n$  位数同时相加,而且重复性差。因此在计算机里用叫作部分积右移的方法来实现。

**例 1.16** 被乘数  $X=1011$ ,乘数  $Y=1101$ ,部分积  $Z=0000$ 。

(1)乘数末位  $Y_0$  为 1,所以在  $Z$  的初值上加被乘数,得新的部分积,部分积和  $Y$  右移一位。

(2)乘数末位  $Y_0$  已是  $Y_1$  的值,为 0,所以给部分积加 0,得新的部分积,部分积和  $Y$  右移一位。

(3)乘数末位  $Y_0$  已是  $Y_2$  的值,为 1,所以给部分积加被乘数,得新的部分积,部分积和  $Y$  右移一位。

(4)乘数末位  $Y_0$  已是  $Y_3$  的值,为 1,所以给部分积加被乘数,得新的部分积,部分积和  $Y$  右移一位。

$$\begin{array}{r}
 \text{部分积 } Z \\
 0000 \\
 +) 1011 \\
 \hline
 1011 \\
 \rightarrow 0101 \quad 1 \\
 +) 0000 \\
 \hline
 0101 \quad 1 \\
 \rightarrow 0010 \quad 1 \quad 1 \\
 +) 1011 \\
 \hline
 1101 \quad 1 \quad 1 \\
 \rightarrow 0110 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \\
 +) 1011 \\
 \hline
 10001 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \\
 \rightarrow 1000 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1
 \end{array}$$