

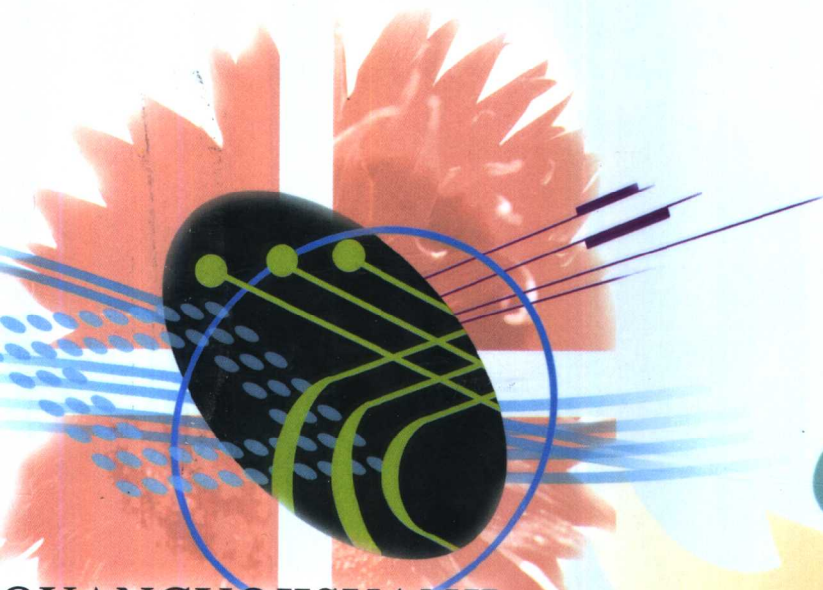


QUANGUOJISUANJIDENGJI  
**KAOSHIZHIDAO**

**全国计算机**

**【三级 A 类】**

# 等级考试指导



QUANGUOJISUANJI  
**DENGJIKAO SHIZHIDAO**



海洋出版社



# 全国计算机等级考试指导 (三级A类)

黄卓 编著

海洋出版社

2000年·北京

### 内容提要

本书是根据教育部考试中心最新颁布的《全国计算机三级考试(A)类考试大纲》编写的。全书主要包括: 计算机应用基础知识、操作系统、数据结构与算法、微型机接口技术、微型机硬件系统组成及工作原理、汇编语言、计算机网络及计算机通讯基础、上机操作及计算机在测控领域中的应用等内容。

本书既可作为参加“全国计算机三级考试(A类)”读者的考前复习教材,也可作为中专以上各级学校的计算机辅助教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

全国计算机等级考试指导.三级 A 类 / 黄卓编著. —北京: 海洋出版社, 2000

ISBN 7-5027-5137-8

I.全… II.黄… III.电子计算机—水平考试—自学参考资料 IV. TP3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 77051 号

责任编辑:金戈

责任印制:严国晋

海洋出版社出版发行

(100081 北京市海淀区大慧寺路 8 号)

北京牛山世兴印刷厂印刷 新华书店发行所经销

2000 年 11 月第 1 版 2000 年 11 月北京第 1 次印刷

开本: 787 x 960 1/16 印张: 24.75

字数: 415 千字 印数: 1~5000 册

定价: 32.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换

# 前 言

随着计算机技术在我国各个领域的推广和普及,越来越多的人开始学习计算机知识,许多用人单位以是否具有一定的计算机应用知识与能力作为考核和录用工作人员的标准之一。这就需要有一项全国统一的、有权威的考核为聘人、用人提供依据,全国计算等级考试面向社会,服务于正在形成和发展的劳动力市场,为人员择业、人才流动提供其计算机应用知识与能力之证明,以便用人单位录用和考核工作人员时有一个统一、客观、公正的标准。

经国家教委批准,国家教委考试中心于 1994 年下半年起,举办全国计算机等级考试,用于测试应试人员的计算机应用知识和能力。

另外,等级考试证书还有一项其他计算机认证考试所不具备的作用:凡持有等级考试证书者,参加自学考试时可申请免考高数、会计等 22 个专业的《计算机应用基础(A)上机》课程(标准号 3016),且从 1999 年起,各主考学校不再安排这些专业进行该课程的考试,该课程的考试成绩均由全国计算机等级考试取得。

等级考试根据使用计算机的不同要求,划分若干等级分别考核,目前考试暂定 4 个等级,其中三级分为 A、B 两类。A 类是对计算机应用工程中偏硬的技术人员的考核,应试者应掌握计算机应用基础知识、微型计算机的工作原理、测试、汇编语言程序设计、接口技术、网络技术及上机操作等;B 类是对计算机应用工程中偏软的技术人员的考核,应试者应掌握计算机应用基础知识、程序设计、软件工程方法以及计算机在信息管理或辅助设计中的应用。

为了便于广大考生学习和复习,我们在计算机专业教学及科研的基础上,参阅了国内外有关资料,并结合授课经验,综合编著了这套考试指导书。这套指导书可作为考生的应考指南,亦可选作考生的教材,还可作为计算机应用技术人员的参考书籍。

限于水平,且时间仓促,书中若有疏漏和不妥之处,敬请读者批评指正。

作者

2000 年 11 月

# 目 录

|                                                              |  |
|--------------------------------------------------------------|--|
| <b>第一章 计算机基础知识</b> .....1                                    |  |
| <b>第一节 计算机的概述</b> .....1                                     |  |
| 一、计算机的发展阶段.....1                                             |  |
| 二、计算机的应用领域.....2                                             |  |
| 三、计算机的主要技术指标及配置原则.....3                                      |  |
| 习 题.....3                                                    |  |
| <b>第二节 计算机运算基础</b> .....4                                    |  |
| 一、数制及其互换方法.....4                                             |  |
| 二、计算机中数的表示.....6                                             |  |
| 三、数的定点表示和浮点表示.....8                                          |  |
| 四、基本逻辑运算.....10                                              |  |
| 五、定点数的算术运算.....10                                            |  |
| 六、计算机中的编码.....12                                             |  |
| 七、数字逻辑电路基础知识.....14                                          |  |
| 八、多媒体基本知识.....15                                             |  |
| 习 题.....16                                                   |  |
| <b>第二章 操作系统</b> .....18                                      |  |
| <b>第一节 操作系统的功能类型及管理</b> .....18                              |  |
| 一、设置操作系统的目的.....18                                           |  |
| 二、操作系统的功能.....19                                             |  |
| 三、操作系统的类型.....19                                             |  |
| 习 题.....22                                                   |  |
| <b>第二节 管理的基本概念</b> .....22                                   |  |
| 一、处理机管理.....23                                               |  |
| 二、进程间的通信.....27                                              |  |
| 三、进程管理.....31                                                |  |
| <b>第三节 存储管理</b> .....33                                      |  |
| 一、虚拟存储原理.....33                                              |  |
| 二、虚拟存储管理技术.....35                                            |  |
| <b>第四节 文件管理</b> .....42                                      |  |
| 一、文件及文件系统的概念.....43                                          |  |
| 二、文件控制块.....43                                               |  |
| 三、文件目录.....44                                                |  |
| 四、文件的分类.....46                                               |  |
| 五、文件的组织.....47                                               |  |
| <b>第五节 作业管理和设备管理的基本概念</b> .....50                            |  |
| 一、作业、作业步和作业流.....50                                          |  |
| 二、作业的状态及其转换.....50                                           |  |
| 三、作业管理的实质和内容.....51                                          |  |
| 四、设备管理的意义.....52                                             |  |
| 五、设备的连接.....53                                               |  |
| 六、独占设备和共享设备.....53                                           |  |
| 七、字符设备和块设备.....54                                            |  |
| 八、虚拟设备技术.....54                                              |  |
| <b>第六节 操作系统 DOS, Wwindows</b><br><b>和 UNIX 的基本特点</b> .....55 |  |
| 一、DOS 的特点.....55                                             |  |
| 二、Windows 的特点.....55                                         |  |
| 三、UNIX 的特点.....55                                            |  |
| 习 题.....56                                                   |  |
| <b>第三章 数据结构与算法</b> .....57                                   |  |
| <b>第一节 数据结构的概念</b> .....57                                   |  |
| 一、什么是数据结构.....57                                             |  |
| 二、基本术语.....58                                                |  |
| 三、算法和算法描述.....59                                             |  |
| 四、算法的时间度量和空间度量.....62                                        |  |

|                       |    |                               |     |
|-----------------------|----|-------------------------------|-----|
| 习 题 .....             | 63 | <b>第四章 微型机的硬件系统工作原理</b>       |     |
| <b>第二节 线性表</b> .....  | 64 | <b>及接口技术</b> .....            | 99  |
| 一、线性表及基本运算 .....      | 64 | <b>第一节 计算机系统的基本结构</b> .....   | 99  |
| 二、线性表的顺序存储结构 .....    | 66 | 一、计算机系统的硬件组成及其功能 .....        | 99  |
| 三、线性表的链式存储结构 .....    | 68 | 二、系统板的基本组成 .....              | 99  |
| 四、数组及其存储结构 .....      | 72 | 三、计算机的分类 .....                | 100 |
| 习 题 .....             | 75 | 习 题 .....                     | 101 |
| <b>第三节 栈与队列</b> ..... | 75 | <b>第二节 IBM PC 系列微处理器的</b>     |     |
| 一、栈 .....             | 75 | <b>一般结构</b> .....             | 101 |
| 二、队列 .....            | 78 | 一、Intel8088 微处理器 .....        | 101 |
| 习 题 .....             | 82 | 二、Intel80286 芯片 .....         | 109 |
| <b>第四节 树</b> .....    | 83 | 三、Intel80386 芯片 .....         | 115 |
| 一、树的基本概念 .....        | 83 | 四、Intel80486 芯片 .....         | 119 |
| 二、二叉树的基本知识 .....      | 84 | 习 题 .....                     | 120 |
| 三、二叉树的存储结构 .....      | 86 | <b>第三节 微型机的内部与外部存储器</b> ..... | 120 |
| 四、二叉树的遍历 .....        | 86 | 一、存储器的分类与主要技术指标 .....         | 120 |
| 五、树的存储、转换与遍历 .....    | 88 | 二、存储器的组成结构 .....              | 124 |
| 习 题 .....             | 89 | 三、存储器时序结构 .....               | 125 |
| <b>第五节 检 索</b> .....  | 89 | 四、存储器地址空间寻址方式 .....           | 126 |
| 一、线性检索 .....          | 90 | 五、存储器与 CPU 的连接 .....          | 129 |
| 二、二分检索 .....          | 91 | 六、存储系统接口 .....                | 129 |
| 三、分块检索 .....          | 91 | 七、硬盘、软盘及光盘 .....              | 135 |
| 四、哈希 (Hash) 检索 .....  | 92 | 习 题 .....                     | 136 |
| 五、各种检索性能分析 .....      | 94 | <b>第四节 输入输出传送方式</b>           |     |
| 习 题 .....             | 94 | <b>及其基本接口</b> .....           | 137 |
| <b>第六节 排 序</b> .....  | 95 | 一、输入输出和接口的概念 .....            | 137 |
| 一、交换排序 .....          | 95 | 二、输入 / 输出寻址方式 .....           | 138 |
| 二、选择排序 .....          | 96 | 三、输入 / 输出方式 .....             | 139 |
| 三、插入排序 .....          | 96 | 习 题 .....                     | 144 |
| 四、冒泡排序 .....          | 96 | <b>第五节 并行接口</b> .....         | 145 |
| 五、快速排序 .....          | 97 | 一、简单并行接口 .....                | 145 |
| 六、归并排序 .....          | 97 | 二、可编程并行接口 .....               | 146 |
| 习 题 .....             | 98 | 习 题 .....                     | 156 |

|                             |     |                       |     |
|-----------------------------|-----|-----------------------|-----|
| 第六节 串行通信接口 .....            | 157 | 四、串操作指令 .....         | 254 |
| 一、串行通信的基本概念 .....           | 157 | 五、控制转移指令 .....        | 259 |
| 二、可编程串行接口 .....             | 161 | 六、CPU 控制指令 .....      | 267 |
| 习 题 .....                   | 169 | 习 题 .....             | 268 |
| 第七节 人一机接口 .....             | 169 | 第四节 汇编语言的程序设计 .....   | 268 |
| 一、键盘显示器接口 .....             | 169 | 一、程序设计步骤和程序质量评价 ..... | 268 |
| 二、LED 显示器及接口 .....          | 174 | 二、结构化程序设计方法 .....     | 269 |
| 三、CRT 控制器接口芯片 .....         | 176 | 三、顺序程序设计 .....        | 270 |
| 习 题 .....                   | 180 | 四、分支程序设计 .....        | 271 |
| 第八节 微型机应用系统的一般设计            |     | 五、循环程序设计 .....        | 272 |
| 方法 .....                    | 181 | 六、子程序设计方法 .....       | 274 |
| 一、概述 .....                  | 181 | 习 题 .....             | 288 |
| 二、微型机应用系统的设计步骤 .....        | 182 | 第六章 微机测试技术 .....      | 289 |
| 习 题 .....                   | 184 | 第一节 微型机测控系统的组成 .....  | 289 |
| 第九节 典型微型机应用系统实例 .....       | 185 | 一、硬件组成 .....          | 289 |
| 一、8086 / 8088 系统构成 .....    | 185 | 二、软件组成 .....          | 292 |
| 二、系统组成实例 .....              | 187 | 习 题 .....             | 292 |
| 习 题 .....                   | 190 | 第二节 传感器及测量技术 .....    | 292 |
| 第五章 汇编语言程序设计 .....          | 191 | 一、传感器 .....           | 292 |
| 第一节 基础知识 .....              | 191 | 二、测量技术 .....          | 293 |
| 一、汇编语言的功能和特点 .....          | 191 | 习 题 .....             | 298 |
| 二、8086 / 8088 汇编语言 .....    | 192 | 第三节 D / A 转换器接口 ..... | 298 |
| 三、汇编语言与硬件的关系 .....          | 192 | 一、D / A 转换器工作原理 ..... | 298 |
| 四、汇编程序举例和上机操作方法 .....       | 192 | 二、D / A 转换器与微处理器的     |     |
| 习 题 .....                   | 219 | 接口方法 .....            | 299 |
| 第二节 汇编语言与汇编程序 .....         | 220 | 三、常用 D / A 芯片及其与微处理器  |     |
| 一、汇编语言和汇编程序的基本概念 .....      | 220 | 的接口 .....             | 300 |
| 二、汇编语言语句格式及寻址方式 .....       | 221 | 习 题 .....             | 304 |
| 习 题 .....                   | 241 | 第四节 A / D 转换器接口 ..... | 304 |
| 第三节 8086 / 8088 的指令系统 ..... | 241 | 一、A / D 转换器工作原理 ..... | 304 |
| 一、数据传送 .....                | 241 | 二、A / D 转换器与微处理器的     |     |
| 二、算术运算 .....                | 245 | 接口方法 .....            | 306 |
| 三、逻辑运算 .....                | 250 | 三、常用 A / D 芯片及其与微处理器  |     |

|                       |     |                        |     |
|-----------------------|-----|------------------------|-----|
| 的接口.....              | 307 | 二、网络的分类.....           | 360 |
| 习 题.....              | 312 | 习 题.....               | 360 |
| 第五节 过程通道和数据采集.....    | 313 | 第二节 数据通讯基础.....        | 360 |
| 一、信号变换中的采样、量化和编码..... | 313 | 一、数据通信基本知识.....        | 360 |
| 二、模拟量输入通道.....        | 316 | 二、数据编码.....            | 360 |
| 三、模拟量输出通道.....        | 319 | 三、数据传送方式.....          | 361 |
| 四、数据采集系统硬件构成.....     | 319 | 四、同步传送方式.....          | 361 |
| 习 题.....              | 320 | 五、差错控制方式.....          | 362 |
| 第六节 数据处理技术.....       | 320 | 习 题.....               | 362 |
| 一、数字滤波处理.....         | 321 | 第八章 上机操作.....          | 363 |
| 二、线性化处理.....          | 325 | 第一节 DEBUG 程序的主要命令..... | 363 |
| 三、标度变换处理.....         | 327 | 一、进入 DEBUG.....        | 363 |
| 四、越限报警处理.....         | 328 | 二、DEBUG 命令的使用说明.....   | 363 |
| 习 题.....              | 328 | 三、DEBUG 命令介绍.....      | 364 |
| 第七节 测控系统的分析与设计方法..... | 329 | 第二节 全屏编辑程序 PE2.....    | 371 |
| 一、微型机控制系统的模拟化设计.....  | 329 | 一、进入编辑状态.....          | 371 |
| 二、测控系统应用软件的开发.....    | 337 | 二、编辑.....              | 371 |
| 习 题.....              | 340 | 三、PE2 的命令.....         | 372 |
| 第八节 微型机应用实例分析.....    | 340 | 第三节 汇编程序、DOS 的装入和      |     |
| 一、单片机频率测量计.....       | 340 | 返回功能.....              | 373 |
| 二、微型机控制机床.....        | 344 | 一、汇编程序.....            | 373 |
| 三、一个典型的数据采集系统.....    | 352 | 二、连接程序.....            | 374 |
| 习 题.....              | 356 | 三、DOS 调入功能 (EXEC 系统功能) |     |
| 第七章 计算机网络与数据通讯基础..... | 357 | 和返回功能 (INT20H 功能)..... | 375 |
| 第一节 网络基础知识.....       | 357 | 模拟试题一.....             | 378 |
| 一、网络的基本知识.....        | 357 | 模拟试题二.....             | 382 |

# 第一章 计算机基础知识

## 第一节 计算机的概述

计算机是一种能够高速、自动地处理信息的电子设备。它能够接受和处理的信息可以是数据、符号、声音、图形和图像等，且能迅速、准确地对所处理的信息进行运算、推理、分析、判断，从而帮助人类完成部分脑力劳动，所以人们也称电子计算机为“电脑”。

### 一、计算机的发展阶段

在第二次世界大战中，美国处于军事上的需要，耗费巨资，于 1946 年由宾夕法尼亚大学摩尔工业学院与阿伯丁弹道研究所合作研制出世界上第一台电子计算机“ENIAC”（Electronic Numerical Integrater And Calculator）。全机共用 8800 个电子管，1500 个继电器，每小时耗电 40 千瓦，整机重量约 30 吨，占地 800 平方米，每秒运算 5000 次。

科学技术的不断进步，使计算机技术得到了飞速的发展。由于计算机所采用的物理器件的变化，通常把计算机的发展分为四代。

第一代：电子管时代。采用电子管为主要元器件的计算机体积大，功耗大，价格昂贵，操作复杂，可靠性和稳定性差，维修也不方便，其运算速度仅为每秒 1000 次至 10000 次，主要用于数值计算。

第二代：晶体管时代，从 1957 年开始。由于采用了晶体管，使得计算机体积减小，功耗减少，价格降低，操作趋于简单，可靠性增高，运算速度达到每秒 10 万次至 100 万次，此时的应用也大都是科学计算。

第三代：集成电路时代，从 1965 年开始。所谓集成电路，是将晶体管、电阻、电容等电子元件构成的电路微型化，并集成在一块指甲大小的硅片上。由此，其体积急剧缩小，功耗更加减少，价格大幅度下降，其运算速度达到每秒 100 万次至 1000 万次。在数据处理方面的应用也大量增多。

第四代：大规模、超大规模集成电路时代，从 1972 年开始。结构上出现了由许多台计算机组成的计算机网络，还出现了微型计算机。由于集成电路的集成度提高，使得计算机的体积越来越小，价格越来越低，而可靠性越来越高，操作越来越简单，应用领域更为广泛，计算机的应用得到了普及。

## 二、计算机的应用领域

计算机的应用领域十分广泛，从国防、科研、工业、农业、交通、通信直至各个层次的文化教育、商业、日常生活，几乎随处可见。可以毫不夸张地说计算机应用已经渗透到人类生活的每一个领域，没有计算机就没有现代化。

### 1. 数值计算（科学计算）

数值计算是计算机应用得最早也是最广的应用领域。所谓数值计算是指计算机的输入输出和处理对象都是数值；处理的算法是解方程式、计算函数值等数值计算方法。这类应用的一般特点是数据量较小，但计算量较大和运算较复杂。如天气预报；计算卫星、火箭的运行轨迹、速度等；对地质探矿中获得的有关地质构造的数据进行计算；在飞机、船舶、建筑的设计等工程技术方面的计算。

### 2. 非数值应用

非数值应用领域是指除数值计算以外的所有领域，其中有如下几个主要方面。

#### (1) 信息处理

信息处理是目前计算机应用中所占比重最大的应用领域，其任务是对各种各样的信息进行收集、分类、计算、检索、传送、存储及打印输出各种报表或图形，使人们从大量繁琐的事务性工作和数据统计管理中解放出来，提高了工作效率和管理水平。信息处理的特点是要处理的原始数据量很大，但算术运算简单，同时需要进行大量的逻辑运算于判断。因此要求计算机有足够大的存储容量，有较强的逻辑处理功能指令，有较多的通道接口和丰富的输入输出设备。

这类应用中，较为典型的有办公自动化、行政管理、生产管理、图书资料管理、市场预测、各种订票系统、税收系统、电子邮件、各种图像处理系统及商业上使用的零售终端机等。

#### (2) 过程控制

工业生产过程的自动控制能有效地提高劳动生产率，保证产品质量。近一二十年来，计算机除了应用于工业生产之外，还被广泛应用于通讯、国防、交通、金融等行业的过程控制中。如火车调度、编组作业、导弹控制、飞行模拟训练等。

#### (3) 人工智能

利用计算机模拟人类的某些知识行为，比如感知、推理、学习、理解等。现已具体应用

于机器人、医疗诊断、定理证明、计算机辅助教育等方面。

### 三、计算机的主要技术指标及配置原则

#### 1. 计算机的主要性能指标

##### (1) 字长

计算机在存储、传送或操作时把作为一个单位的一组二进制数，称为一个计算机字，简称字。每个字所包含的位数称为字长。由于字长是计算机一次可处理的二进制数的位数，因此它与计算机处理数据的速率有关。

##### (2) 存储容量

计算机的存储系统包含内存储器和外存储器两大部分。高档计算机都具有较大存储容量的内外存。存储容量用存储二进制数的长度单位——字节来表示。字节简称 B (Byte 的缩写) 是一个 8 位二进制数的长度单位。现代的计算机存储容量都比较大，用字节作单位表示容量不方便，可用更大的单位千字节 (KB)、兆字节 (MB)、千兆字节 (GB)，兆兆字节 (TB) 等。

##### (3) 扩充能力

这里主要指计算机系统调配各种外部设备的可能性、灵活性和适应性。如果计算机系统在这方面的功能很差，随着计算机硬件技术的飞速发展和计算机应用的不断扩大和深入，就会感到使用的限制和阻碍。

#### 2. 计算机系统的配置

计算机配置分硬件和软件配置两个方面，其配置总原则是根据应用需要，结合现有财力，考虑今后发展，选择适当指标，以求最高性能价格比。

### 习题

#### (一) 选择题

- 世界上第一台计算机诞生于\_\_\_\_\_。  
A. 19 世纪                      B. 第一次世界大战末  
C. 第二次世界大战末        D. 1950 年
- 操作系统是\_\_\_\_\_。  
A. 硬件                        B. 软件  
C. 输入输出系统              D. 存储系统
- DOS 的中文意义是\_\_\_\_\_。

- A. 微型机系统                      B. 输入输出系统  
C. 磁盘操作系统                  D. 软件系统

4. 一台计算机，内存容量为 512KB，硬盘容量为 20MB，硬盘容量是内存容量的\_\_\_\_\_。

- A. 20 倍                              B. 40 倍  
C. 60 倍                              D. 80 倍

5. 32 个二进制是\_\_\_\_\_字节。

- A. 4                                      B. 8  
C. 2                                      D. 16

### （二）填空题

1. 广泛使用的微型机属第\_\_\_\_\_代计算机。

2. 大多数软件的版本号表示为小数点分隔的两个数字，它们分别称为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。

3. 486 计算机是字长\_\_\_\_\_位的计算机。

## 第二节 计算机运算基础

### 一、数制及其互换方法

#### 1. 进位计数制及其表示方法

在日常生活中，可遇到各种进位计数制，如十进制、十二进制、十六进制、六十进制等，各种进位计数制都有两个主要特点。

① 每一个计数制都有一个固定的基数  $R$ ，它的每一位可能取  $R$  个不同的数码。如十进制数的基数为 10，所用到的数码个数为 10 个，分别是 0, 1, 2, ..., 8, 9。在  $R$  进制中，基数为  $R$ ，所用到的数码个数为  $R$  个，它们分别是 0, 1, 2, ...,  $R-1$ 。

②  $R$  进制是逢  $R$  进位的。因此，它的每一个数位  $R$ ，对应一个固定的值  $R^k$ ， $R^k$  就称为该位的权。在一个  $R$  进制的数中，每一位的大小都对对应着这位上的数码乘以该位的权。

例如，设  $N$  是一个  $R$  进制的数， $N = a_{n-1}a_{n-2} \cdots a_1a_0a_{-1}a_{-2} \cdots a_{-m}$ ，各位的权为  $R^{n-1}$ ， $R^{n-2}$ ，...， $R^1$ ， $R^0$ ， $R^{-1}$ ， $R^{-2}$ ，...， $R^{-m}$ 。

#### 2. 数制间的相互转换

我们最熟悉的进位计数制有十进制、二进制、十六进制等，前者在日常生活中常用，后

两者在计算机中常用。同一个数值可以用不同进位制表示,但形式是不同的。例如,数值“十四”可以表示为:  $(14)_{10} = (1110)_2 = (16)_8 = (0E)_{16}$

上式中下标表示进位制,从中我们不难发现不同进位制的表述形式并不会改变数值本身,而只是描述数值的不同手段。因此,在保证转换前后的数值相等的前提下,不同进位制之间的数是可以互相转换的。

在计算机中,我们经常涉及到的不同进位制之间的相互转换有十进制与二进制;二进制与八进制、十六进制;十进制与八进制、十六进制等。

### (1) 十进制与二进制之间的转换

#### ① 二进制转换成十进制

$$\begin{aligned}\text{例: } (1101.101)_2 &= 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} \\ &= 8 + 4 + 1 + 0.5 + 0.125 \\ &= (13.625)_{10}\end{aligned}$$

通过例题,我们知道二进制数转换为十进制数的过程实际上是将二进制数在十进制中按位权展开求和,即转换计算是在我们所熟悉的十进制中进行的。

#### ② 十进制转换为二进制

我们仍可以利用①中的方法进行转换。

$$\begin{aligned}\text{例: } (15.5)_{10} &= 1 \times 1010^1 + 101 \times 1010^0 + 101 \times 1010^{-1} \\ &= 1010 + 101 + 0.1 \\ &= (1111.1)_2\end{aligned}$$

但是在实际工作中,我们将不采用位权展开求和的方法,而采用基数乘、除法,分别求出要转换的小数和整数部分,使计算变得容易。

例:将  $(13.625)_{10}$  转换为二进制数

$$\text{解: } (13.625)_{10} = (13)_{10} + (0.625)_{10}$$

1)用基数乘法完成小数部分的转换计算,方法为“乘基取整”,基数为二;

2)用基数除法完成整数部分的转换计算,方法为“除基取余”,基数为二;

3)综合 1)、2)结果即为所求。

$$\begin{aligned}(13.625)_{10} &= (13)_{10} + (0.625)_{10} \\ &= (1101)_2 + (0.101)_2 \\ &= (1101.101)_2\end{aligned}$$

### (2) 二进制与八进制、十六进制之间的转换

二进制、八进制、十六进制之间有着十分密切的关系,其相应基数分别为:

$$R_2 = 2^1 = 2^K \quad K=1$$

$$R_8 = 8 = 2^3 = 2^K \quad K=3$$

$$R_{16} = 16 = 2^4 = 2^K \quad K=4$$

引入参数  $K$  后，二进制、八进制、十六进制可以统称为  $2^K$  进制。二进制、八进制、十六进制之间的相互转换问题，也就变成了二进制与  $2^K$  进制之间的相互转换问题。注意到  $2^K$  进制数的一位数相当于二进制的  $K$  位数，因此，从  $2^K$  进制数转换为二进制数，只需以小数点为界，向左向右，用  $K$  位二进制数取代相应的  $2^K$  进制数即可。反过来，从二进制数转换为  $2^K$  进制数，也是以小数点为界，向左向右，用  $K$  为二进制数合并为一位  $2^K$  进制数。同时注意，当转换位数不足  $K$  位时，必须用 0 补足  $K$  位。

### (3) 十进制与八进制、十六进制之间的相互转换

十进制与八进制、十六进制之间的相互转换计算，采用间接转换计算的方法，即以二进制为桥，间接实现十进制与八进制、十六进制之间的转换计算。

## 二、计算机中数的表示

### 1. 真值与机器数

数有正负两种，在计算机中表示正、负的符号是由数码来表示的。一般情况下，用 0 表示正数，用 1 表示负数。通常把符号放在数的最高位。

例如： $x_1 = (+1011011)_2$ ， $x_2 = (-1011011)_2$ ，它们在机器中表示为

$x_1$ : 0 1 0 1 1 0 1 1                       $x_2$ : 1 1 0 1 1 0 1 1

最左边一位代表符号位，连同符号位在一起作为一个数，称为机器数，而它的数值称为机器数的真值。

### 2. 原码、补码和反码

在不同的计算机中，机器数的表示方法不完全相同。通常机器数可用原码、补码和反码表示，它们各有自己的特点。

#### (1) 原码表示法

正数的符号用 0 表示，负数的符号用 1 表示，其余各位表示数值本身，这样表示的机器数就成为原码。

##### ① 正数表示法

例： $X = +52$ ，                       $[X]_{\text{原}} = 0\ 0110100$

##### ② 负数表示法

例： $X = -52$ ，                       $[X]_{\text{原}} = 1\ 0110100$

##### ③ 数 0 表示法

0 在原码中有两种表示法，即  $+0$  和  $-0$ 。

例： $X = +0$                        $[X]_{\text{原}} = 0\ 0000000$

$X = -0$                        $[X]_{\text{原}} = 1\ 0000000$

## (2) 反码

### ① 正数表示法

正数的反码表示与原码相同，即符号位用 0 表示正，其余位为数值位。

例：X = +0110100                       $[X]_{\text{反}} = 00110100$

### ② 负数表示法

负数的反码表示：除符号不变外（即仍为 1），其余各位按位取反，即得到它的反码。

例：X = -0110100                       $[X]_{\text{反}} = 11001011$

### ③ 数 0 表示法

根据原码中的 +0 和 -0 可得到两种表示法：

例：X = +0                               $[X]_{\text{反}} = 00000000$

X = -0                                   $[X]_{\text{反}} = 11111111$

## (3) 补码

### ① 正数表示法

其补码表示与原码相同。

例：X = +0110100                       $[X]_{\text{补}} = [X]_{\text{原}} = 00110100$

### ② 负数表示法

负数的补码定义为： $[X]_{\text{补}} = [X]_{\text{反}} + 1$ 。即一个负数的补码等于它的反码加 1。注意此处加 1 是在最低位加 1。

例：X = -0110100，由定义：

$$[X]_{\text{补}} = [X]_{\text{反}} + 1 = 11001011 + 1 = 11001100$$

$$\text{同理} \quad [-2]_{\text{补}} = [-2]_{\text{反}} + 1 = 11111101 + 1 = 11111110$$

$$[-127]_{\text{补}} = [-127]_{\text{反}} + 1 = 10000000 + 1 = 10000001$$

### ③ 数 0 的表示法

例：X = +0,  $[+0]_{\text{补}} = 0\ 0000000$

X = -0,  $[-0]_{\text{补}} = [-0]_{\text{反}} + 1 = 11111111 + 1 = 00000000$

对 8 位字长来说，最高位的进位被舍掉，故对 8 位字长来说，其  $[+0]_{\text{补}} = [-0]_{\text{补}} = 00000000$ ，即 8 位补码中只有一个 0。

需要注意的一点是，在微机中，凡是涉及带符号数都一定是用补码表示的，所以运算的结果也是用补码表示的。

## (4) 码制表示法小结

通过上述 3 种码制表示方法的介绍，可以小结如下。

① 如果真值 X 为正数，则  $[X]_{\text{原}} = [X]_{\text{补}} = [X]_{\text{反}}$ ；如果 X 为负数，则均有不同的表示。

② 如果 X 为正数，那么 3 种码制表示数的范围相同；如果 X 为负数，则  $[X]_{\text{补}}$  比  $[X]_{\text{原}}$  和  $[X]_{\text{反}}$  表示的数的范围宽。

③ 如果  $X$  为零, 则  $[X]_{\text{补}}$  是惟一的, 而  $[X]_{\text{原}}$  和  $[X]_{\text{反}}$  对于  $+0$  和  $-0$  的表示方法不同。

④ 3 种码制表示中, 符号位为 0 表示正数, 符号位为 1 表示负数。

#### (5) 无符号整数

在某些情况下, 要处理的数全是正数, 此时再保留最高位的符号位就没有意义了, 可以把最高位也作为数值处理, 这样的数称为无符号整数。16 位无符号数的表数范围是  $0 \sim 65535$ , 8 位无符号数的表数范围是  $0 \sim 255$ 。

在计算机中最常用的无符号整数是表示地址的数。此外, 如多字节数的低字节数也是无符号整数等。在某些情况下, 带符号数与无符号数的处理是有差别的。在处理数时, 应注意它们的区别。

### 三、数的定点表示和浮点表示

计算机在处理数据时, 除了要考虑数制和数的各种码制表示方法外, 还要考虑到小数点的位置。如果小数点固定在某一位置, 则称为定点表示法; 如果小数点的位置可以任意移动, 则称为浮点表示法。

#### 1. 数的定点表示法

定点数规定: 机器中所有数的小数点位置都是固定不变的, 可以固定在某一位置上。常用的是定点小数和定点整数。

##### (1) 定点小数格式

小数点的位置固定在最高数据的左边。一般  $m$  位小数 (包括一位符号位  $N_s$ ) 格式如下:

$$N = N_s N_{s+1} N_{s+2} \cdots N_{s+m-1}$$

$M$  位 (含符号位) 二进制定点小数所表示的数的范围根据采用不同的码制表示法有所不同。用原码及反码表示最大数为  $1-2^{-m+1}$ , 最小数为  $-(1-2^{-m+1})$ , 用补码表示最大数为  $1-2^{-m+1}$ , 最小数为  $-1$ 。

##### (2) 定点整数格式

小数点的位置固定在最低数据位的右边, 一般  $m$  位整数 (包括一位符号位  $N_s$ ) 格式如下:

$$N = N_s N_{m-2} N_{m-3} \cdots N_1 N_0$$

$M$  位 (含符号位) 二进制定点整数所表示的数的范围不尽相同。对于原码或反码表示法, 最大数和最小数分别为  $2^{m-1}-1$  和  $-(2^{m-1}-1)$ ; 对于补码表示法, 最大数为  $2^{m-1}-1$ , 而最小数为  $-2^{m-1}$ 。

在机器的定点数表示中, 一旦机器设计好, 小数点位置就固定了, 因此, 小数点在机器中是隐含的。

不论是定点小数还是定点正数, 参加运算的数和运算结果都必须在定点数的表示范围

内, 否则就产生溢出。

## 2. 数的浮点表示法

对许多应用领域里太大或太小的数, 用定点数无法表示, 但用浮点数表示是很方便的。一个数  $N$  用浮点形式表示 (即用科学表示法) 可以写成

$$N=M \times R^E$$

$M$  表示尾数,  $E$  表示指数,  $R$  表示基数。  $R$  一般取 2, 8, 16。一旦机器定义好了基数值, 就不能再变了, 因此基数在数据表示中不出现。尾数一般用定点小数表示, 阶码 (指数) 一般用定点整数表示。

一个浮点数, 尾数用以表示数的有效值, 其位数反映了数的精度, 阶码用以表示小数点在该数中的位置, 其位数反映了该浮点数的表示范围。

### (1) 浮点数表数范围

用相同的位数表示浮点数, 采用的基数不同, 所能表示的数的范围也不同。

例: 一个 17 位的浮点数, 阶码用 4 位表示, 尾数用 13 位 (含一位符号位) 表示。基数为 2, 阶码用补码表示, 尾数用原码表示, 求其浮点数的表示范围。

解: 阶码最大为  $2^3-1=7$ , 阶码最小为  $-2^3=-8$ 。尾数最大为  $1-2^{-12}$ , 尾数最小为  $-(1-2^{-12})$  (非规格化数)。

所以浮点数的表示范围为: 最大  $(1-2^{-12}) \times 2^7$ , 最小  $-(1-2^{-12}) \times 2^7$ 。所能表示的最小绝对值数为:  $2^{-12} \times 2^{-8}=2^{-20}$  ( $2^{-12}$  为尾数绝对值最小,  $2^{-8}$  为指数最小)。

例: 题目同上, 基数改为 8, 求其浮点数表示范围。

解: 因为基数改为 8, 所以底数就为 8。阶码最大数为  $2^3-1=7$ , 阶码最小数为  $-2^3=-8$ 。尾数就要以 3 位为一组, 因此尾数就应为八进制 4 位 (除符号位)。尾数最大值为  $1-8^{-4}=1-2^{-12}$ , 尾数绝对值最小  $8^{-4}=2^{-12}$ , 尾数最小值为  $-(1-8^{-4})=-(1-2^{-12})$ 。

所以基数为 8 时, 浮点数的表示范围: 最大值为  $(1-2^{-12}) \times 8^7$ , 而最小值为  $-(1-2^{-12}) \times 8^7$ , 绝对值最小为  $8^{-4} \times 8^{-8}=2^{-36}$ 。

### (2) 规格化数

从上可以看出, 一个浮点数的表示方法不是惟一的。如果阶码的底数为 2, 尾数同二进制数表示, 则尾数右移一位, 阶码加 1, 与尾数左移一位阶码减 1 所表示数的大小是相同的。

为了使浮点数有一个惟一标准的表示方法, 同时也为了提高数的有效位数, 规定非 0 的浮点数必须以规格化的形式存储。所谓规格化数是当尾数用二进制数表达时, 浮点尾数位  $s$  满足下列关系式的浮点数:

对于正数,  $1/2 \leq s < 1$ 。

对于负数, 如果尾数用原码表示,  $-1/2 \geq s > -1$ ; 如果尾数用补码表示, 计算机为了便于判别是否为规格化的数, 不把  $[-1/2]$  补列入规格化的数, 而把  $-1$  列入规格化的数, 即规