



全国计算机技术与软件专业技术资格(水平)考试参考用书

# 程序员考试同步辅导

## ——考点串讲、真题详解与强化训练

工业和信息化部教育与考试中心 推荐

初耀军 袁琴 主编 / 吴亚军 郭传奇 副主编

非  
外  
借



清华大学出版社

第3版

全国计算机技术与软件专业技术资格（水平）考试参考用书

# 程序员考试同步辅导

——考点串讲、真题详解与强化训练

（第3版）

初耀军 袁 琴 主 编  
吴亚军 郭传奇 副主编

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书是按照最新颁布的全国计算机技术与软件专业技术资格(水平)考试大纲和指定教材编写的考试用书。全书分为 14 章,包括计算机系统基础知识、操作系统基础知识、程序设计语言基础知识、数据结构与算法、软件工程基础知识、数据库基础知识、网络与信息安全基础知识、标准化和知识产权、C 语言程序设计、C++程序设计、Java 程序设计、计算机专业英语、计算机应用基础知识和考前模拟卷等内容。每章分为备考指南、考点精讲、真题详解和强化训练四大部分,帮助读者明确考核要求,把握命题规律与特点,掌握考试要点和解题方法。

本书紧扣考试大纲,具有应试导向准确、考试要点突出、真题分析详尽、针对性强等特点,非常适合参加程序员考试的考生使用,也可作为高等院校相关专业或培训班的教材使用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。  
版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

程序员考试同步辅导——考点精讲、真题详解与强化训练/初耀军,袁琴主编. —3版. —北京:清华大学出版社,2018

全国计算机技术与软件专业技术资格(水平)考试参考用书

ISBN 978-7-302-50696-6

I. ①程… II. ①初… ②袁… III. ①程序设计—资格考试—自学参考资料 IV. ①TP311.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 163092 号

责任编辑:魏莹 李玉萍

装帧设计:常雪影

责任校对:王明明

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 装 者:三河市铭诚印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:28.75 字 数:700千字

版 次:2011年6月第1版 2018年9月第3版 印 次:2018年9月第1次印刷

定 价:85.00元

产品编号:070739-01

# 前 言

全国计算机技术与软件专业技术资格(水平)考试是我国国家人力资源和社会保障部、工业和信息化部领导下的国家考试,其目的是科学、公正地对全国计算机与软件专业技术人员进行职业资格、专业技术资格认定和专业技术水平测试。它自实施起至今已经历了20多年,其权威性和严肃性得到了社会及用人单位的广泛认同,并为推动我国信息产业特别是软件产业的发展和提高各类IT人才的素质培养作出了积极的贡献。

本书第1版自2011年、第2版自2014年出版以来,被众多考生选用为考试参考书,多次重印,深受广大考生好评。为了更好地服务于考生,引导考生尽快掌握计算机的先进技术,并顺利通过程序员考试,根据计算机新技术的发展,本书对第2版同名书进行了修订。

本书具有如下特色。

(1) 全面揭示命题特点。通过分析研究最近几年考题,统计出各章所占的分值和考点的分布情况,引导考生把握命题规律。

(2) 突出严谨性与实用性。按照最新考试大纲和《程序员教程(第5版)》编写,结构与官方教程同步,内容严谨,应试导向准确。

(3) 考点浓缩,重点突出。精心筛选考点,突出重点与难点,针对性强。同时对于考试中出现的而指定教材没有阐述的知识点进行了必要的补充。

(4) 例题典型,分析透彻。所选例题出自最新真题,内容权威,例题分析细致深入,解答准确完整,以帮助考生增强解题能力,突出实用性。

(5) 习题丰富,附有答案。每章提供了一定数量的习题供考生自测,并配有参考答案与解析,有利于考生巩固所学知识,提高解题能力。

(6) 全真试题实战演练。提供两套考前模拟试卷供考生进行考前实战演练。试题题型、考点分布、题目难度与真题相当,便于考生熟悉考试方法、试题形式,全面了解试题的深度和广度。

本书特别适合参加全国计算机技术与软件专业技术资格(水平)考试的考生使用,也可作为相应培训班的教材,以及大、中专院校师生的教学参考书。

本书由初耀军、袁琴担任主编,吴亚军、郭传奇担任副主编,参与本书组织、编写和资料收集的还有肖文、吴刚山、吴敏、赵毅、钟彩华、傅伟玉、高洁、李静、杨宏、周瑜龙、赵明、汤小燕、何光明等,在此一并表示感谢。同时在编写本书的过程中,还参考了许多相关的书籍和资料,在此也对这些参考文献的作者表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在错漏和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

# 目 录

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| <b>第 1 章 计算机系统基础知识</b> .....  | 1   |
| 1.1 备考指南 .....                | 1   |
| 1.1.1 考纲要求 .....              | 1   |
| 1.1.2 考点统计 .....              | 1   |
| 1.1.3 命题特点 .....              | 2   |
| 1.2 考点串讲 .....                | 2   |
| 1.2.1 计算机系统的基本组成 .....        | 2   |
| 1.2.2 计算机中数据的表示及运算 .....      | 4   |
| 1.2.3 计算机的基本组成及工作<br>原理 ..... | 17  |
| 1.2.4 指令系统简介 .....            | 24  |
| 1.2.5 多媒体系统简介 .....           | 27  |
| 1.3 真题详解 .....                | 38  |
| 综合知识试题 .....                  | 38  |
| 1.4 强化训练 .....                | 44  |
| 1.4.1 综合知识试题 .....            | 44  |
| 1.4.2 综合知识试题参考答案 .....        | 46  |
| <b>第 2 章 操作系统基础知识</b> .....   | 49  |
| 2.1 备考指南 .....                | 49  |
| 2.1.1 考纲要求 .....              | 49  |
| 2.1.2 考点统计 .....              | 49  |
| 2.1.3 命题特点 .....              | 50  |
| 2.2 考点串讲 .....                | 50  |
| 2.2.1 操作系统概述 .....            | 50  |
| 2.2.2 进程管理 .....              | 55  |
| 2.2.3 存储管理 .....              | 62  |
| 2.2.4 设备管理 .....              | 66  |
| 2.2.5 文件管理 .....              | 69  |
| 2.2.6 作业管理 .....              | 74  |
| 2.3 真题详解 .....                | 75  |
| 综合知识试题 .....                  | 75  |
| 2.4 强化训练 .....                | 77  |
| 2.4.1 综合知识试题 .....            | 77  |
| 2.4.2 综合知识试题参考答案 .....        | 79  |
| <b>第 3 章 程序设计语言基础知识</b> ..... | 81  |
| 3.1 备考指南 .....                | 81  |
| 3.1.1 考纲要求 .....              | 81  |
| 3.1.2 考点统计 .....              | 81  |
| 3.1.3 命题特点 .....              | 82  |
| 3.2 考点串讲 .....                | 82  |
| 3.2.1 程序设计语言的基础知识 .....       | 82  |
| 3.2.2 语言处理程序基础 .....          | 84  |
| 3.3 真题详解 .....                | 86  |
| 综合知识试题 .....                  | 86  |
| 3.4 强化训练 .....                | 91  |
| 3.4.1 综合知识试题 .....            | 91  |
| 3.4.2 综合知识试题参考答案 .....        | 93  |
| <b>第 4 章 数据结构与算法</b> .....    | 95  |
| 4.1 备考指南 .....                | 95  |
| 4.1.1 考纲要求 .....              | 95  |
| 4.1.2 考点统计 .....              | 95  |
| 4.1.3 命题特点 .....              | 96  |
| 4.2 考点串讲 .....                | 96  |
| 4.2.1 线性结构 .....              | 96  |
| 4.2.2 数组和矩阵 .....             | 112 |
| 4.2.3 树与二叉树 .....             | 115 |

|              |                      |            |              |                         |            |
|--------------|----------------------|------------|--------------|-------------------------|------------|
| 4.2.4        | 图.....               | 128        | 6.1.2        | 考点统计.....               | 197        |
| 4.2.5        | 算法概述.....            | 129        | 6.1.3        | 命题特点.....               | 198        |
| 4.3          | 真题详解.....            | 133        | 6.2          | 考点串讲.....               | 198        |
| 4.3.1        | 综合知识试题.....          | 133        | 6.2.1        | 基本概念.....               | 198        |
| 4.3.2        | 案例分析试题.....          | 142        | 6.2.2        | 数据模型.....               | 199        |
| 4.4          | 强化训练.....            | 151        | 6.2.3        | 数据库管理系统的功能<br>和特征.....  | 202        |
| 4.4.1        | 综合知识试题.....          | 151        | 6.2.4        | 数据库模式.....              | 203        |
| 4.4.2        | 案例分析试题.....          | 153        | 6.2.5        | 关系数据库与关系运算.....         | 206        |
| 4.4.3        | 综合知识试题参考答案.....      | 155        | 6.2.6        | 关系数据库 SQL 语言<br>简介..... | 209        |
| 4.4.4        | 案例分析试题参考答案.....      | 157        | 6.2.7        | 数据库设计.....              | 213        |
| <b>第 5 章</b> | <b>软件工程基础知识.....</b> | <b>159</b> | 6.3          | 真题详解.....               | 216        |
| 5.1          | 备考指南.....            | 159        | 综合知识试题.....  | 216                     |            |
| 5.1.1        | 考纲要求.....            | 159        | 6.4          | 强化训练.....               | 218        |
| 5.1.2        | 考点统计.....            | 160        | 6.4.1        | 综合知识试题.....             | 218        |
| 5.1.3        | 命题特点.....            | 160        | 6.4.2        | 综合知识试题参考答案.....         | 219        |
| 5.2          | 考点串讲.....            | 160        | <b>第 7 章</b> | <b>网络与信息安全基础知识.....</b> | <b>223</b> |
| 5.2.1        | 软件工程和项目管理基础.....     | 160        | 7.1          | 备考指南.....               | 223        |
| 5.2.2        | 面向对象技术基础.....        | 165        | 7.1.1        | 考纲要求.....               | 223        |
| 5.2.3        | 软件需求分析.....          | 167        | 7.1.2        | 考点统计.....               | 224        |
| 5.2.4        | 软件设计.....            | 167        | 7.1.3        | 命题特点.....               | 224        |
| 5.2.5        | 软件编码.....            | 171        | 7.2          | 考点串讲.....               | 224        |
| 5.2.6        | 软件测试.....            | 174        | 7.2.1        | 计算机网络概述.....            | 224        |
| 5.2.7        | 软件运行与维护.....         | 176        | 7.2.2        | 计算机网络硬件.....            | 227        |
| 5.2.8        | 软件质量管理与质量保证.....     | 177        | 7.2.3        | TCP/IP 网络体系结构.....      | 232        |
| 5.3          | 真题详解.....            | 179        | 7.2.4        | Internet 基础知识.....      | 238        |
| 综合知识试题.....  | 179                  |            | 7.2.5        | 局域网基础.....              | 245        |
| 5.4          | 强化训练.....            | 191        | 7.2.6        | 安全性概述.....              | 246        |
| 5.4.1        | 综合知识试题.....          | 191        | 7.2.7        | 计算机病毒和计算机犯罪<br>概述.....  | 247        |
| 5.4.2        | 综合知识试题参考答案.....      | 193        | 7.2.8        | 网络安全.....               | 249        |
| <b>第 6 章</b> | <b>数据库基础知识.....</b>  | <b>197</b> | 7.2.9        | 访问控制.....               | 249        |
| 6.1          | 备考指南.....            | 197        |              |                         |            |
| 6.1.1        | 考纲要求.....            | 197        |              |                         |            |

|                                 |            |                                  |            |
|---------------------------------|------------|----------------------------------|------------|
| 7.2.10 加密与解密.....               | 249        | 9.3 真题详解.....                    | 301        |
| 7.3 真题详解.....                   | 250        | 9.3.1 综合知识试题.....                | 301        |
| 综合知识试题.....                     | 250        | 9.3.2 案例分析试题.....                | 303        |
| 7.4 强化训练.....                   | 257        | 9.4 强化训练.....                    | 316        |
| 7.4.1 综合知识试题.....               | 257        | 9.4.1 案例分析试题.....                | 316        |
| 7.4.2 综合知识试题参考答案.....           | 260        | 9.4.2 案例分析试题参考答案.....            | 321        |
| <b>第8章 标准化和知识产权.....</b>        | <b>263</b> | <b>第10章 C++程序设计.....</b>         | <b>325</b> |
| 8.1 备考指南.....                   | 263        | 10.1 备考指南.....                   | 325        |
| 8.1.1 考纲要求.....                 | 263        | 10.1.1 考纲要求.....                 | 325        |
| 8.1.2 考点统计.....                 | 263        | 10.1.2 考点统计.....                 | 325        |
| 8.1.3 命题特点.....                 | 264        | 10.1.3 命题特点.....                 | 326        |
| 8.2 考点串讲.....                   | 264        | 10.2 考点串讲.....                   | 326        |
| 8.2.1 标准化的基本知识.....             | 264        | 10.2.1 C++程序基础.....              | 326        |
| 8.2.2 知识产权基础知识.....             | 269        | 10.2.2 类、成员、构造函数及析构<br>函数.....   | 328        |
| 8.3 真题详解.....                   | 278        | 10.2.3 模板.....                   | 331        |
| 综合知识试题.....                     | 278        | 10.2.4 继承和多态.....                | 333        |
| 8.4 强化训练.....                   | 280        | 10.3 真题详解.....                   | 335        |
| 8.4.1 综合知识试题.....               | 280        | 案例分析试题.....                      | 335        |
| 8.4.2 综合知识试题参考答案.....           | 281        | 10.4 强化训练.....                   | 344        |
| <b>第9章 C语言程序设计.....</b>         | <b>285</b> | 10.4.1 案例分析试题.....               | 344        |
| 9.1 备考指南.....                   | 285        | 10.4.2 案例分析试题参考答案.....           | 348        |
| 9.1.1 考纲要求.....                 | 285        | <b>第11章 Java 程序设计.....</b>       | <b>351</b> |
| 9.1.2 考点统计.....                 | 285        | 11.1 备考指南.....                   | 351        |
| 9.1.3 命题特点.....                 | 286        | 11.1.1 考纲要求.....                 | 351        |
| 9.2 考点串讲.....                   | 286        | 11.1.2 考点统计.....                 | 351        |
| 9.2.1 C语言的程序结构.....             | 286        | 11.1.3 命题特点.....                 | 352        |
| 9.2.2 C语言的数据类型、运算符<br>和表达式..... | 287        | 11.2 考点串讲.....                   | 352        |
| 9.2.3 C语言的基本语句.....             | 289        | 11.2.1 Java语言的程序结构<br>和基本语法..... | 352        |
| 9.2.4 标准输入/输出函数.....            | 290        | 11.2.2 类、成员、构造函数.....            | 354        |
| 9.2.5 数组和函数.....                | 291        | 11.2.3 继承及接口.....                | 357        |
| 9.2.6 指针.....                   | 296        |                                  |            |

|                               |            |                           |            |
|-------------------------------|------------|---------------------------|------------|
| 11.3 真题详解.....                | 360        | 13.1.1 考纲要求.....          | 397        |
| 案例分析试题.....                   | 360        | 13.1.2 考点统计.....          | 397        |
| 11.4 强化训练.....                | 368        | 13.1.3 命题特点.....          | 398        |
| 11.4.1 案例分析试题.....            | 368        | 13.2 考点串讲.....            | 398        |
| 11.4.2 案例分析试题参考答案.....        | 370        | 13.2.1 Windows 基础知识.....  | 398        |
| <b>第 12 章 计算机专业英语</b> .....   | <b>371</b> | 13.2.2 文字处理基础知识.....      | 400        |
| 12.1 备考指南.....                | 371        | 13.2.3 电子表格基础知识.....      | 402        |
| 12.1.1 考纲要求.....              | 371        | 13.3 真题详解.....            | 404        |
| 12.1.2 考点统计.....              | 371        | 综合知识试题.....               | 404        |
| 12.1.3 命题特点.....              | 372        | 13.4 强化训练.....            | 407        |
| 12.2 考点串讲.....                | 372        | 13.4.1 综合知识试题.....        | 407        |
| 程序员考试专业英语.....                | 372        | 13.4.2 综合知识试题参考答案.....    | 409        |
| 12.3 真题详解.....                | 391        | <b>第 14 章 考前模拟卷</b> ..... | <b>411</b> |
| 综合知识试题.....                   | 391        | 14.1 模拟试卷.....            | 411        |
| 12.4 强化训练.....                | 394        | 14.1.1 模拟试卷一.....         | 411        |
| 12.4.1 综合知识试题.....            | 394        | 14.1.2 模拟试卷二.....         | 423        |
| 12.4.2 综合知识试题参考答案.....        | 395        | 14.2 模拟试卷参考答案.....        | 434        |
| <b>第 13 章 计算机应用基础知识</b> ..... | <b>397</b> | 14.2.1 模拟试卷一参考答案.....     | 434        |
| 13.1 备考指南.....                | 397        | 14.2.2 模拟试卷二参考答案.....     | 442        |



# 第 1 章

## 计算机系统基础知识

### 1.1 备考指南

#### 1.1.1 考纲要求

根据考试大纲中相应的考核要求,在“计算机系统基础知识”模块中,要求考生掌握以下几方面的内容。

(1) 计算机的类型和特点,包括微机(PC)、工作站、服务器、主机、大型计算机、巨型计算机、并行机。

(2) 中央处理器 CPU,包括 CPU 的组成,常用的寄存器、指令系统、寻址方式、指令执行控制、中断控制、处理机性能。

(3) 主存和辅存,包括存储介质、高速缓存(Cache)、主存设备、辅存设备。

(4) I/O 接口、I/O 设备和通信设备,包括 I/O 接口、I/O 设备(类型、特性),通信设备(类型、特性),I/O 设备、通信设备的连接方法和连接介质类型。

(5) 数制及其转换,包括二进制、十进制和十六进制等常用数制及其相互转换。

(6) 数据的表示,包括数的表示(原码、反码、补码表示,整数和实数的机内表示方法,精度和溢出)、非数值数据的表示(字符、汉字、声音和图像的机内表示方法)。

(7) 算术运算和逻辑运算,包括计算机中二进制数的运算方法、逻辑代数的基本运算。

#### 1.1.2 考点统计

“计算机系统基础知识”模块在历次程序员考试试卷中出现的考核知识点及分值分布情况如表 1-1 所示。

表 1-1 历年考点统计表

| 年份           | 题号                  | 知识点   | 分值  |
|--------------|---------------------|---|-----|
| 2017年<br>下半年 | 上午题: 6~11、<br>20~22 | 寄存器、I/O 控制方式、中央处理器 CPU、主存和辅存、数制及其转换、数据表示、编码、校验码、显示器刷新率等 | 9分  |
|              | 下午题: 无              |   | 0分  |
| 2017年<br>上半年 | 上午题: 6~11、<br>19~22 | 中央处理器 CPU、流水线、总线、Cache、主存和辅存、分辨率、浮点数、编码等                | 10分 |
|              | 下午题: 无              |   | 0分  |
| 2016年<br>下半年 | 上午题: 6~11、<br>19~22 | 寄存器寻址方式、主存和辅存、程序计数器、中断、浮点数、编码、数据表示等                     | 10分 |
|              | 下午题: 无              |   | 0分  |
| 2016年<br>上半年 | 上午题: 6~11、<br>19~22 | 中央处理器 CPU、指令集、总线、主存和辅存、显示器刷新率、计算机性能、数据表示等               | 10分 |
|              | 下午题: 无              |   | 0分  |
| 2015年<br>下半年 | 上午题: 6~9、<br>19~22  | 主存和辅存、数据表示、算数运算和逻辑运算、寻址方式、系统性能等                         | 8分  |
|              | 下午题: 无              |   | 0分  |

### 1.1.3 命题特点

纵观历年试卷,本章知识点是以选择题的形式出现在试卷中的。本章知识点在历次考试“综合知识”试卷中,所考查的题量为8~12道选择题,所占分值为8~12分(约占试卷总分值75分中的10.67%~16%)。大多数试题偏重于理论知识,检验考生是否理解并掌握相关的理论知识点,考试难度中等。

## 1.2 考点串讲

### 1.2.1 计算机系统的基本组成

#### 一、计算机系统的基本组成结构

计算机系统由硬件系统和软件系统两大部分组成,其基本组成结构如图1-1所示。

##### 1. 硬件系统

计算机硬件系统是由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备五大部分及总线组成,如图1-2所示。

运算器是计算机中进行数据加工的部件,主要完成算术运算和逻辑运算。

控制器是计算机中控制执行指令的部件,其主要功能如下。

- 正确执行每条指令。首先是获得一条指令,按硬件逻辑分析这条指令,再按指令

格式和功能执行这条指令。

- 保证指令按规定序列自动连续地执行。
- 对各种异常情况和请求及时响应和处理。

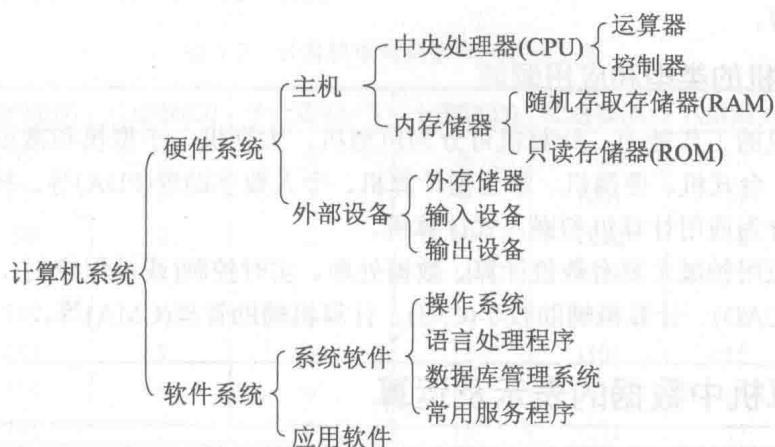


图 1-1 计算机系统组成

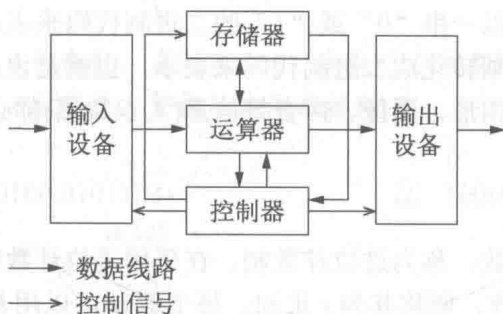


图 1-2 计算机硬件结构

存储器是存放程序和工作数据的地方，分为内部存储器(或称主存储器)和外部存储器(或称辅助存储器)，分别简称为内存(或称主存)和外存(或称辅存)。内存速度快容量小，外存速度慢容量大。寄存器是 CPU 中的记忆设备，用来临时存放指令和数据，其速度比内存更快。

一般把 CPU 和主存储器的组合称为主机。输入/输出(I/O)设备位于主机之外，是计算机与外界交换信息的装置。

## 2. 软件系统

计算机软件是指为管理、运行、维护及应用计算机所开发的程序和相关文档的集合。其中，程序是让计算机硬件完成特定功能的指令序列，数据是程序处理的对象。计算机软件通常分为系统软件和应用软件。

### 1) 系统软件

系统软件是指那些为计算机所配置的、用于完成计算机硬件资源的控制与管理，以及为用户提供操作界面和为专业人员提供开发工具与环境的软件，如操作系统、程序设计语言及处理程序、数据库管理系统、实用程序与软件工具。

## 2) 应用软件

应用软件是指用于解决各种不同具体应用问题的专门软件。应用软件可以分为通用软件和定制软件,如文字处理软件、电子表格软件、图形图像软件、网络通信软件、简报软件、统计软件等。

## 二、计算机的类型和应用领域

按照计算机的工作能力,计算机可分为巨型机、大型机、小型机和微型机。微型机又可分为工作站、台式机、便携机、掌上型计算机、个人数字助理(PDA)等。按照功能是否专一,计算机可分为通用计算机和嵌入式计算机。

计算机的应用领域主要有数值计算、数据处理、实时控制(或过程控制)、人工智能、计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助教学(CAI)、计算机辅助管理(CMA)等。

## 1.2.2 计算机中数据的表示及运算

### 一、计算机中数据的表示

在计算机中,数字是以一串“0”或“1”的二进制代码来表示的,这是计算机唯一能识别的数据形式。数据必须转化成二进制代码来表示,也就是说,所有需要计算机加以处理的数字、字母、文字、图形、图像、声音等信息(人识数据)都必须采用二进制编码(机识数据)来表示和处理。

#### 1. 数制及其转换

按进位的方法进行计数,称为进位计数制。在采用进位计数制的数字系统中,如果只用 $r$ 个基本符号来表示数值,则称其为 $r$ 进制。每个数都可以用基数、系数和位数的形式来表示,即

$$N = m_{n-1}K^{n-1} + m_{n-2}K^{n-2} + \dots + m_0K^0 + m_{-1}K^{-1} + m_{-2}K^{-2} + \dots$$

- 基数( $K$ ): 最大进位数(进制数),数制的规则是逢 $K$ 进1。例如,十进制基数为10,六十进制(时间)的基数为60等。
- 系数( $m$ ): 每个数位上的值,取值范围 $0 \sim k-1$ 。例如,234中百位系数为2,十位系数为3,个位系数为4。
- 位数( $n$ ): 各种进制数的个数。例如,十进制数234的位数为3,二进制数11010011的位数为8。

例如:  $(234)_{10} = 2 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 4 \times 10^0$  (式中:  $m_2=2$ ,  $m_1=3$ ,  $m_0=4$ ;  $K=10$ ;  $n=3$ )

显然,一个任意进制的数都可以按上述方法表示为其他进制的数。表1-2列出了计算机中常用的几种数制的对应关系。

数制转换主要有如下几种。

#### 1) $r$ 进制转换成十进制

方法:

$$a_n \dots a_1 a_0 a_{-1} \dots a_{-m} (r) = ar^n + \dots + ar^1 + ar^0 + ar^{-1} + \dots + ar^{-m}$$

例如:

$$10101(\text{B}) = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^0 = 21$$

$$101.11(\text{B}) = 1 \times 2^2 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = 5.75$$

$$101(\text{O}) = 1 \times 8^2 + 1 \times 8^0 = 65$$

$$71(\text{O}) = 7 \times 8^1 + 1 \times 8^0 = 57$$

$$101\text{A}(\text{H}) = 1 \times 16^3 + 1 \times 16^1 + 10 \times 16^0 = 4122$$

表 1-2 计算机中常用数制的对应关系

| 十进制(D) | 二进制(B) | 八进制(O) | 十六进制(H) | 十进制(D) | 二进制(B) | 八进制(O) | 十六进制(H) |
|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|---------|
| 0      | 0      | 0      | 0       | 8      | 1000   | 10     | 8       |
| 1      | 1      | 1      | 1       | 9      | 1001   | 11     | 9       |
| 2      | 10     | 2      | 2       | 10     | 1010   | 12     | A       |
| 3      | 11     | 3      | 3       | 11     | 1011   | 13     | B       |
| 4      | 100    | 4      | 4       | 12     | 1100   | 14     | C       |
| 5      | 101    | 5      | 5       | 13     | 1101   | 15     | D       |
| 6      | 110    | 6      | 6       | 14     | 1110   | 16     | E       |
| 7      | 111    | 7      | 7       | 15     | 1111   | 17     | F       |

2) 十进制转换成  $r$  进制

方法:

- 整数部分: 除以  $r$  取余数, 直到商为 0, 余数从右向左排列。
- 小数部分: 乘以  $r$  取整数, 整数从左向右排列。

例如:

①  $100.345(\text{D}) = 1100100.01011(\text{B})$

$$\begin{array}{r}
 2 \overline{) 100} \quad 0 \\
 \underline{2 \quad 50} \quad 0 \quad \times \quad 2 \\
 \underline{2 \quad 25} \quad 1 \quad \quad \underline{0.690} \\
 \underline{2 \quad 12} \quad 0 \quad \times \quad 2 \\
 \underline{2 \quad 6} \quad 0 \quad \quad \underline{1.380} \\
 \underline{2 \quad 3} \quad 1 \quad \times \quad 2 \\
 \underline{2 \quad 1} \quad 1 \quad \quad \underline{0.760} \\
 \quad \quad 0 \quad \quad \times \quad 2 \\
 \quad \quad \quad \quad \underline{1.520} \\
 \quad \quad \quad \quad \times \quad 2 \\
 \quad \quad \quad \quad \quad \underline{1.04}
 \end{array}$$

②  $100(\text{D}) = 144(\text{O}) = 64(\text{H})$

$$\begin{array}{r}
 8 \overline{) 100} \quad 4 \\
 \underline{8 \quad 12} \quad 4 \\
 \underline{8 \quad 1} \quad 1 \\
 \quad \quad 0 \\
 \\
 16 \overline{) 100} \quad 4 \\
 \underline{16 \quad 6} \quad 6 \\
 \quad \quad 0
 \end{array}$$

## 3) 八进制和十六进制转换成二进制

方法:

- 每一个八进制数对应二进制的 3 位。
- 每一个十六进制数对应二进制的 4 位。

例如:

$$7123(\text{O}) = \underline{111} \quad \underline{001} \quad \underline{010} \quad \underline{011}(\text{B})$$

$$7 \quad 1 \quad 2 \quad 3$$

$$2\text{C1D}(\text{H}) = \underline{0010} \quad \underline{1100} \quad \underline{0001} \quad \underline{1101}(\text{B})$$

$$2 \quad \text{C} \quad 1 \quad \text{D}$$

$$144(\text{O}) = \underline{001} \quad \underline{100} \quad \underline{100}(\text{B})$$

$$1 \quad 4 \quad 4$$

$$64(\text{H}) = \underline{0110} \quad \underline{0100}(\text{B})$$

$$6 \quad 4$$

## 4) 二进制转换成八进制和十六进制

方法:

- 整数部分: 从右向左进行分组。
- 小数部分: 从左向右进行分组。
- 转换成八进制每3位一组, 不足补0。
- 转换成十六进制每4位一组, 不足补0。

例如:

$$\underline{1\ 101\ 101\ 110.110\ 101}(\text{B})=1556.65(\text{O})$$

$$1\ 5\ 5\ 6\ 6\ 5$$

$$\underline{11\ 0110\ 1110.1101\ 01}(\text{B})=3\text{E.D4}(\text{H})$$

$$3\ 6\ \text{E}\ \text{D}\ 4$$

## 2. 二进制运算规则

- 加法:  $1+0=1$ ;  $0+1=1$ ;  $0+0=0$ ;  $1+1=0$ (有进位)。
- 减法:  $1-0=1$ ;  $1-1=0$ ;  $0-0=0$ ;  $0-1=1$ (有借位)。
- 乘法:  $0\times 0=0$ ;  $1\times 0=0$ ;  $0\times 1=0$ ;  $1\times 1=1$ 。
- 除法: 乘法的逆运算。

## 3. 机器数和码制

各种数据在计算机中的表示形式被称为机器数, 其特点是采用二进制计数制, 数的符号用0、1来表示, 小数点则隐含表示而不占位置。真值是机器数所代表的实际数值。

机器数分无符号数和带符号数两种。无符号数表示正数, 没有符号位。对于无符号数, 若约定小数点的位置在机器数的最低位之后, 则是纯整数; 若约定小数点的位置在最高位之前, 则是纯小数。对于带符号数, 最高位是符号位, 其余位表示数值。对于带符号数, 若约定小数点的位置在机器数的最低位之后, 则是纯整数; 若约定小数点的位置在最高数值位之前(符号位之后), 则是纯小数。

为方便运算, 带符号的机器数可采用原码、反码和补码等不同的编码方法, 这些编码方法被称为码制。真值的符号数字化: 我们用“+”和“-”来表示正负数, 而计算机则在二进制数的最高位设置成符号位, 通常用“0”表示正数, “1”表示负数。

## 1) 原码

规则: 最高位为符号位, “0”表示正数, “1”表示负数。对数0则有“+0”和“-0”两种表示。

- 当  $0 \leq X$  时,  $[X]_{\text{原}}=0X$       例如, +7: 00000111      +0: 00000000

- 当  $0 \geq X$  时,  $[X]_{\text{原}}=1|X|$       例如, -7: 10000111      -0: 10000000

对  $n+1$  位字长用以表示整型数值的范围:  $-2^n+1 \leq X \leq 2^n-1$ 。

## 2) 反码

规则: 最高位为符号位, “0”表示正数, “1”表示负数。正数与原码相同, 负数则要将除符号位的其他位按位取反。对数0, 则有“+0”和“-0”两种表示。

- 当  $0 \leq X$  时,  $[X]_{\text{反}}=0X$       例如, +7: 00000111      +0: 00000000

- 当  $0 \geq X$  时,  $[X]_{\text{反}}=1|\overline{X}|$       例如, -7: 11111000      -0: 11111111

对  $n+1$  位字长用以表示整型数值的范围： $-2^n+1 \leq X \leq 2^n-1$ 。

### 3) 补码

规则：最高位为符号位，“0”表示正数，“1”表示负数。正数与原码相同，负数则要将除符号位的其他位按位取反后加1。对数0，只有“0”一种表示。

- 当  $0 \leq X$  时， $[X]_{补} = 0X$       例如：+7: 00000111      +0: 00000000
- 当  $0 > X$  时， $[X]_{补} = 1\bar{X} + 1$       例如：-7: 11111001      -128: 10000000

对  $n+1$  位字长用以表示整型数值的范围： $-2^n \leq X \leq 2^n-1$ 。

补码运算的优点：将减法运算变成加法运算(因为运算器中只有加法器)。

例如： $96-20=76$

$$\begin{array}{r} 0110\ 0000 \quad \leftarrow [+96]_{补} \\ + 1110\ 1100 \quad \leftarrow [-20]_{补} \\ \hline 1\ 0100\ 1100 \quad \rightarrow 76 \end{array}$$

最高位的进位1则自然丢失

### 4) 移码

规则：最高位为符号位，“1”表示正数，“0”表示负数。

当  $-2^n \leq x < 2^n$  时， $[x]_{移} = 2^n + x$ 。

数值范围： $-2^n \leq x \leq 2^n - 1$ 。

特点：保持了数据原有的大小顺序，便于进行比较操作。

以上介绍的四种编码方法(设字长为4位，最高位为符号位)的对应关系如表1-3所示。

表1-3 符号数的四种编码表示

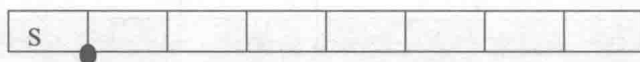
| $X_0X_1X_2X_3$ | 原码 | 反码 | 补码 | 移码 | $X_0X_1X_2X_3$ | 原码 | 反码 | 补码 | 移码 |
|----------------|----|----|----|----|----------------|----|----|----|----|
| 0000           | 0  | 0  | 0  | -8 | 1000           | -0 | -7 | -8 | 0  |
| 0001           | +1 | +1 | +1 | -7 | 1001           | -1 | -6 | -7 | 1  |
| 0010           | +2 | +2 | +2 | -6 | 1010           | -2 | -5 | -6 | 2  |
| 0011           | +3 | +3 | +3 | -5 | 1011           | -3 | -4 | -5 | 3  |
| 0100           | +4 | +4 | +4 | -4 | 1100           | -4 | -3 | -4 | 4  |
| 0101           | +5 | +5 | +5 | -3 | 1101           | -5 | -2 | -3 | 5  |
| 0110           | +6 | +6 | +6 | -2 | 1110           | -6 | -1 | -2 | 6  |
| 0111           | +7 | +7 | +7 | -1 | 1111           | -7 | -0 | -1 | 7  |

## 4. 定点数和浮点数

### 1) 定点数

(1) 定点小数的表示。

小数点设在符号位(S)之后，其表示格式如下。



设字长为  $n+1$  位，定点小数的数值表示范围如下。

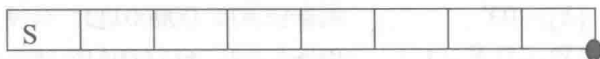
- 原码表示： $-(1-2^{-n}) \sim +(1-2^{-n})$ 。
- 反码表示： $-(1-2^{-n}) \sim +(1-2^{-n})$ 。
- 补码表示： $-1 \sim +(1-2^{-n})$ 。

例如,  $(-0.25)_{10} \rightarrow (-0.01)_2$ , 以原码定义表示为 10100000。

(2) 定点整数的表示。

定点整数分为(有)符号数和无符号数两种表示格式。

① (有)符号数: 小数点在符号位最末有效位之后。其表示格式如下。

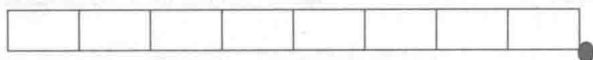


设字长为  $n+1$  位, 符号数的数值表示范围如下。

- 原码表示:  $-(2^n-1) \sim +(2^n-1)$ 。
- 反码表示:  $-(2^n-1) \sim +(2^n-1)$ 。
- 补码表示:  $-2^n \sim +(2^n-1)$ 。

例如,  $(-10)_{10} \rightarrow (-1010)_2$ , 以原码定义表示为 10001010。

② 无符号数: 不设符号位, 小数点在符号位最末有效位之后。其表示格式如下。



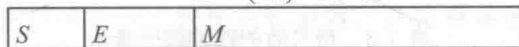
设字长为  $n+1$  位, 无符号数的数值表示范围为  $0 \leq N \leq 2^{n+1}-1$ 。

例如,  $(255)_{10} \rightarrow (11111111)_2$ , 以原码定义表示为 11111111。

2) 浮点数

构成: 阶码  $E$ , 尾数  $M$ , 符号位  $S$ , 基数  $R$ 。

$$N = (-1)^S \times M \times R^E$$



(1) 规格化: 为了在尾数中表示最多的有效数据位, 也为了数据表示的唯一性而定义的规则。如将尾数的绝对值限制在区间  $[0.5, 1]$  中, 当尾数( $M$ )用补码表示时, 有以下两种情况。

- $M \geq 0$  时, 尾数规格化的形式:  $M = 0.1X \cdots X$ 。
- $M < 0$  时, 尾数规格化的形式:  $M = 1.0X \cdots X$ 。

(2) 浮点数的表示范围: 尾数的位数决定数的精度, 阶码的位数决定数的范围。而表示范围与机器的具体表示方法及字长有关, 下面举例说明。

例: 以  $R$  为基数, 有  $p$  位阶码和  $m$  位二进制尾数代码的浮点数, 阶码采用二进制正整数编码表示, 求数值的表示范围。

解: 最小规格化尾数:  $1/R$

最大规格化尾数:  $1-2^{-m}$

最大阶码:  $2^p-1$

最小阶码: 0

最小值:  $1/R$

最大值:  $R^{2^p-1}(1-2^{-m})$

注: 本例中没有符号位, 也没有考虑阶码为负的情况。如果考虑这些因素就要考虑阶码和尾数的编码方式。

(3) 浮点数的溢出: 当运算的结果超出该机器浮点数可表示的范围时, 则产生浮点数溢出, 浮点数可表示的范围如图 1-3 所示。上例中, 当浮点数的运算结果小于  $1/R$  [或大于  $R^{2^p-1}(1-2^{-m})$ ] 时, 则产生正下溢(或正上溢)。





图 1-3 浮点数的表示范围

(4) 浮点数的实例。设浮点数格式如下：

|    |    |    |    |
|----|----|----|----|
| 阶符 | 阶码 | 数符 | 尾数 |
|----|----|----|----|

则数  $110.011(\text{B}) = +0.110011 \times 2^{11}$  (规格化尾数)  $= 0\ 110011 \times 2^0\ 11$  (机器数格式) 可表示为：

|   |    |   |        |
|---|----|---|--------|
| 0 | 11 | 0 | 110011 |
|---|----|---|--------|

3) 浮点数工业标准 IEEE 754

规格化数格式如下：

$$(-1)^s \times 1.f \times 2^E$$

其中，1 位数符( $s$ )：正数为 0，负数为 1；除去了最高位的尾数( $f$ )为原码表示；阶码( $E$ )为特殊移码表示。

IEEE 754 浮点数的范围如表 1-4 所示。

表 1-4 IEEE 754 浮点数的表示范围

| 格式  | 最小值                                  | 最大值  |
|-----|--------------------------------------|--|
| 单精度 | $E=-126, f=0, 1.0 \times 2^{-126}$   | $E=127, f=11 \dots 1, 1.11 \dots 1 \times 2^{127} = 2^{127} \times (2-2^{-23})$    |
| 双精度 | $E=-1022, f=0, 1.0 \times 2^{-1022}$ | $E=1023, f=11 \dots 1, 1.11 \dots 1 \times 2^{1023} = 2^{1023} \times (2-2^{-52})$ |

例：将 IEEE 754 标准的精度浮点数  $0\ 10000110\ 011000000010000000000000$  转换为真值。

解：将特殊移码表示阶码转换为真值阶码，因为  $E=10000110-01111111=00000111$ ，所以  $E=7$ ；因为  $f=011000000010000000000000$ ，所以  $1.f=1.01100000001$ ；将  $1.f$  右移 7 位(因为  $E=7$ )  $= (10110000.0001)_2 = 176.0625$ 。

### 5. 十进制数与字符的编码表示

数值、文字和英文字母等字符在进入计算机时，都必须转换成二进制表示形式，称为字符编码。

用 4 位二进制代码表示 1 位十进制数，称为十进制编码，简称 BCD 编码。常用的十进制数的编码有 8421 BCD 码、格雷码、余 3 码。

上述三种编码与十进制数的对应关系如表 1-5 所示。

表 1-5 常用编码与十进制数的对应关系

| 十进制数 | BCD 码 | 格雷码  | 余 3 码 | 十进制数 | BCD 码 | 格雷码  | 余 3 码 |
|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|
| 0    | 0000  | 0000 | 0011  | 5    | 0101  | 1110 | 1000  |
| 1    | 0001  | 0001 | 0100  | 6    | 0110  | 1010 | 1001  |
| 2    | 0010  | 0011 | 0101  | 7    | 0111  | 1000 | 1010  |
| 3    | 0011  | 0010 | 0110  | 8    | 1000  | 1100 | 1011  |
| 4    | 0100  | 0110 | 0111  | 9    | 1001  | 0100 | 1100  |