

21世纪高等学校规划教材 | 计算机应用

C语言程序设计 学习 上机实践

刘韶涛 潘秀霞 应晖 编著



清华大学出版社

21世纪高等学校规划教材 | 计算机应用



C语言程序设计 学习指导与上机实践

潘秀霞 应晖 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是《C 语言程序设计》的姐妹篇。本书对各章的基本内容、重点和难点等作了进一步的归纳、阐述和举例说明,使读者能够对一些比较难懂、容易混淆或者容易忽视的问题有更清楚的认识、理解和把握。在编写过程中,注意突出各章的重点,通过大量的实例和上机实践环节的实践训练,加强读者对基本概念、基本算法和基本应用的掌握。特别是,我们针对当前全国和福建省计算机等级考试(二级 C 语言)中经常出现的典型题型、考试知识点和内容等,做了大量题目的收集、汇总和比较分析,通过对常考知识点的逐一分析,帮助读者加深对考试题型、考试内容和考试平台等的熟悉、理解和掌握,以便读者能在考试中取得较好的成绩。

本书共分 14 章,其中,第 1 章至第 12 章是对教材重点、难点内容的阐述和举例说明,第 13 章对 6 套模拟考试试卷作了详细的分析,第 14 章给出了 7 套自测试卷和参考答案。

本书既适合于 C 语言的初学者使用,也适合于具有一定 C 语言学习基础,想进一步提高 C 编程能力的读者使用,尤其是对那些准备参加计算机等级考试(二级 C 语言)的读者,相信本书能起到事半功倍的效果。

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

C 语言程序设计学习指导与上机实践 / 刘韶涛等编著. —北京:清华大学出版社, 2011.1
(21 世纪高等学校规划教材·计算机应用)

ISBN 978-7-302-23596-5

I. ①C… II. ①刘… III. ①C 语言-程序设计-高等学校-教学参考资料 IV. ①TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 159023 号

责任编辑:魏江江 王冰飞

责任校对:时翠兰

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62795954, jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:17.25 字 数:416 千字

版 次:2011 年 1 月第 1 版 印 次:2011 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:26.00 元

产品编号:039707-01

编审委员会成员

(按地区排序)

清华大学

周立柱 教授

覃 征 教授

王建民 教授

冯建华 教授

刘 强 副教授

北京大学

杨冬青 教授

陈 钟 教授

陈立军 副教授

北京航空航天大学

马殿富 教授

吴超英 副教授

姚淑珍 教授

中国人民大学

王 珊 教授

孟小峰 教授

陈 红 教授

北京师范大学

周明全 教授

北京交通大学

阮秋琦 教授

赵 宏 教授

北京信息工程学院

孟庆昌 教授

北京科技大学

杨炳儒 教授

石油大学

陈 明 教授

天津大学

艾德才 教授

复旦大学

吴立德 教授

吴百锋 教授

杨卫东 副教授

同济大学

苗夺谦 教授

徐 安 教授

华东理工大学

邵志清 教授

华东师范大学

杨宗源 教授

应吉康 教授

东华大学

乐嘉锦 教授

孙 莉 副教授

浙江大学

吴朝晖 教授

李善平 教授

扬州大学

李 云 教授

南京大学

南京航空航天大学

南京理工大学

南京邮电学院

苏州大学

江苏大学

中国矿业大学

武汉大学

华中科技大学

中南财经政法大学

华中师范大学

江汉大学

国防科技大学

中南大学

湖南大学

西安交通大学

长安大学

哈尔滨工业大学

吉林大学

山东大学

中山大学

厦门大学

仰恩大学

云南大学

电子科技大学

成都理工大学

西南交通大学

骆 斌 教授

黄 强 副教授

黄志球 教授

秦小麟 教授

张功萱 教授

朱秀昌 教授

王宜怀 教授

陈建明 副教授

鲍可进 教授

张 艳 副教授

何炎祥 教授

刘乐善 教授

刘腾红 教授

叶俊民 教授

郑世珏 教授

陈 利 教授

颜 彬 教授

赵克佳 教授

刘卫国 教授

林亚平 教授

邹北骥 教授

沈钧毅 教授

齐 勇 教授

巨永峰 教授

郭茂祖 教授

徐一平 教授

毕 强 教授

孟祥旭 教授

郝兴伟 教授

潘小轰 教授

冯少荣 教授

张恩民 教授

刘惟一 教授

刘乃琦 教授

罗 蕾 教授

蔡 淮 教授

于 春 讲师

曾华荣 教授

出版说明

随着我国改革开放的进一步深化,高等教育也得到了快速发展,各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度,通过教育改革合理调整和配置了教育资源,优化了传统学科专业,积极为地方经济建设输送人才,为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是,高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要,不少高校的专业设置和结构不尽合理,教师队伍整体素质亟待提高,人才培养模式、教学内容和方法需要进一步转变,学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月,教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》,计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程(简称‘质量工程’)”,通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容,进一步深化高等学校教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中,各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势,对其特色专业及特色课程(群)加以规划、整理和总结,更新教学内容、改革课程体系,建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上,经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议,清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程,分别规划出版系列教材,以配合“质量工程”的实施,满足各高校教学质量和教学改革的需要。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上;精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合21世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。推出的特色精品教材包括:

- (1) 21 世纪高等学校规划教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。
- (2) 21 世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。
- (3) 21 世纪高等学校规划教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。
- (4) 21 世纪高等学校规划教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。
- (5) 21 世纪高等学校规划教材·信息管理与信息系统。
- (6) 21 世纪高等学校规划教材·财经管理与计算机应用。
- (7) 21 世纪高等学校规划教材·电子商务。

清华大学出版社经过二十多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会

联系人:魏江江

E-mail:weijj@tup.tsinghua.edu.cn

前言

对于非计算机专业的学生,要在计算机等级考试(二级C语言)中取得较好的成绩,必须熟悉考试的题型、考试内容以及考试的重点和难点等。我们在教学实践中发现,许多学生在学完C程序设计之后,对C的基本概念模糊不清或者理解不透,不理解C中各种概念的基本内涵,不会运用所学基本知识解决常见的实际简单问题,上机调试程序的能力较差。为此,我们对积累多年的实际教学经验进行细心筛选,整理和编著了这本《C语言程序设计学习指导与上机实践》(以下简称《指导》),它既可作为《C语言程序设计》教材(以下简称《教材》)的姐妹篇,也可以作为读者学习C程序设计的辅导书。

本书与《教材》一书同步,前12章章名完全相同,各章对基本内容、重点和难点做了进一步的阐述和举例说明,以加深读者对它们的认识、理解和掌握。第13章对6套模拟考试试卷做了详细的分析,第14章给出了7套自测试卷和参考答案。通过对重点、难点的阐述和对典型实例及模拟试题的分析,使读者能够逐步掌握C语言程序设计的基本概念和基本方法,理解C程序设计的内涵和应用技巧,在学习C语言程序设计中得到一次全面的提升。这正是我们编写此书的目的。

本书由刘韶涛副教授主编。其中第1、2、3、4章由潘秀霞、刘韶涛编写,第5、6、11、12章由应晖编写,第7、8、9、10、13、14章由刘韶涛编写,全书由刘韶涛统一审定、修改和校对。范慧琳副教授始终关心《教材》和《指导》两书的编写,在两书的编写过程中,给出了很多建设性的意见和建议,在此表示深深的谢意!

对于初学者来说,本书可以帮助他们有效地理解和把握C语言的基本概念和基本方法。对于具有一定C语言学习基础的读者来说,本书可以进一步提高他们灵活运用C程序解决实际问题的能力。对于那些准备参加计算机等级考试(二级C语言)的读者来说,使用本书更能起到事半功倍的效果。

由于时间仓促,加上编者水平有限,书中难免存在不妥与错误之处,敬请读者批评指正。任何批评、意见和建议等,请发至邮箱:shaotaol@hqu.edu.cn,我们将万分感谢。

编 者

2010年8月

目录

第 1 章 程序设计概述	1
1.1 学习指导	1
1.1.1 计算机中数据的表示	1
1.1.2 算法和数据结构的基本概念	7
1.1.3 结构化程序设计的基本概念	9
1.2 学习思考	11
第 2 章 C 语言概述	12
2.1 学习指导	12
2.1.1 C 语言简介	12
2.1.2 简单的 C 程序介绍	13
2.2 C 程序的开发环境及其使用	15
2.3 上机实践	25
第 3 章 数据类型、运算符和表达式	31
3.1 学习指导	31
3.1.1 C 语言的数据类型	31
3.1.2 常量和变量	32
3.1.3 C 的运算符和表达式	32
3.2 例题分析和思考题	34
3.3 上机实践	36
第 4 章 顺序结构程序设计	45
4.1 学习指导	45
4.1.1 C 语言的语句	45
4.1.2 输入和输出操作	46
4.2 例题分析和思考题	48
4.3 上机实践	49

第 5 章 选择结构程序设计	53
5.1 学习指导	53
5.1.1 选择结构的基本概念与使用方法	53
5.1.2 switch...case 的使用方法	59
5.2 上机实践	61
第 6 章 循环结构程序设计	62
6.1 学习指导	62
6.1.1 循环结构的基本概念与使用方法	62
6.1.2 嵌套循环的使用方法	66
6.2 上机实践	69
第 7 章 数组	70
7.1 学习指导	70
7.1.1 数组的基本概念和数组元素之间的关系	70
7.1.2 数组的初始化与数组元素的引用	72
7.1.3 数组的应用	73
7.2 上机实践	83
第 8 章 函数	85
8.1 学习指导	85
8.1.1 函数的基本概念、定义与调用方法	85
8.1.2 数组作为函数参数的使用	91
8.1.3 变量的存储类型与程序的多文件结构	93
8.2 多文件结构的 C 程序编译、链接与运行	96
8.3 上机实践	101
第 9 章 指针	104
9.1 学习指导	104
9.1.1 指针的基本概念	104
9.1.2 指针与数组的关系	106
9.1.3 指向指针的指针和指向函数的指针	108
9.1.4 指向字符串的指针	110
9.1.5 指针作为函数的参数以及返回指针的函数	111
9.2 上机实践	114

第 10 章 编译预处理	117
10.1 学习指导	117
10.1.1 #define	117
10.1.2 #include	119
10.1.3 #if、#elif、#else 和 #endif	120
10.2 上机实践	121
第 11 章 结构体、共用体、枚举类型	123
11.1 学习指导	123
11.1.1 结构体的基本概念、定义与引用方法	123
11.1.2 结构体数组	127
11.1.3 结构体变量与指针	128
11.1.4 链表	129
11.1.5 共用体	129
11.1.6 枚举类型	131
11.2 上机实践	131
第 12 章 文件	134
12.1 学习指导	134
12.1.1 文件的基本概念、定义与引用方法	134
12.1.2 fread()函数与 fwrite()函数	137
12.2 上机实践	139
第 13 章 考试模拟试卷及解析	141
13.1 模拟试卷 1 及解析	141
13.2 模拟试卷 2 及解析	150
13.3 模拟试卷 3 及解析	160
13.4 模拟试卷 4 及解析	171
13.5 模拟试卷 5 及解析	181
13.6 模拟试卷 6 及解析	191
第 14 章 自测试卷及参考答案	201
14.1 自测试卷 1 及参考答案	201
14.2 自测试卷 2 及参考答案	209
14.3 自测试卷 3 及参考答案	215
14.4 自测试卷 4 及参考答案	225
14.5 自测试卷 5 及参考答案	236

14.6	自测试卷 6 及参考答案	240
14.7	自测试卷 7 及参考答案	246
附录 A	全国计算机等级考试（二级 C 语言）考试大纲	254
附录 B	福建省高等学校计算机应用水平等级考试（二级 C 语言） 考试大纲	257
参考文献		260

程序设计概述

基本内容

- 计算机系统的基础知识
- 数据在内存中的存储
- 程序设计语言的基础知识
- 高级语言编写程序的过程
- 算法和数据结构的基础知识
- 结构化程序设计的基本概念

重点

- 数据在内存中的存储特性
- 程序设计语言的基础知识和高级语言编写程序的过程
- 算法和数据结构的基本概念
- 结构化程序设计的基本概念

难点

- 数据在内存中的存储特性
- 高级语言编写程序的过程
- 算法和数据结构的基本概念
- 结构化程序设计的基本概念

1.1

学习指导

本章主要讲解程序设计语言的基础知识，以程序设计为中心，首先介绍了计算机系统的组成，详细阐述了计算机的硬件系统和计算机软件系统以及它们之间的关系等，然后介绍了数据在计算机内存中的存储和计算机程序设计语言的基础知识以及用高级语言编写程序的过程和步骤等，接着阐述了程序设计的基础——算法和数据结构的基础知识，最后介绍了结构化程序设计的基本概念等。下面我们围绕几个重点知识，对这些基本概念和基本知识作进一步的分析和讨论，以帮助初学者更好地对它们进行理解和掌握。

1.1.1 计算机中数据的表示

计算机最主要的功能是处理数值、文字、声音、图形和图像等信息。在计算机内部，

各种信息都必须经过数字化编码后才能被传送、存储和处理。因此,理解和掌握信息编码的概念与处理技术是至关重要的。所谓编码,就是采用少量的基本符号,选用一定的组合规则,以表示大量复杂多样的信息。基本符号的种类和这些符号的组合规则是一切信息编码的两大要素。例如,用 10 个阿拉伯数码表示数字,用 26 个英文字母表示英文词汇等,都是编码的典型例子。

1. 进位记数制及其转换

在采用进位记数的数字系统中,如果只用 r 个基本符号表示数值,则称其为 r 进制 (radix- r number system), r 称为该数制的基数 (radix)。对于不同的进制,它们的共同特点是:

- 每一种数制都有固定的符号集。例如,十进制数制的基本符号有 10 个 (0,1,2,...,9), 二进制数制的基本符号有两个 (0 和 1)。
- 每一种数制都是用位置表示法来表示。即处于不同位置的数符所代表的值不同,与它所在位置的权值有关。

对任何一种进位记数制表示的数都可以写成按权展开的多项式之和,任意一个 r 进制数 N 可表示为:

$$N_r = \sum_{i=m-1}^k D_i \times r^i$$

其中, D_i 为该数制采用的基本数符, r^i 是权, r 是基数。例如,十进制数 12345.67 可表示为:

$$12345.67 = 1 \times 10^4 + 2 \times 10^3 + 3 \times 10^2 + 4 \times 10^1 + 5 \times 10^0 + 6 \times 10^{-1} + 7 \times 10^{-2}$$

计算机中常用的进位数制的表示方法如表 1-1 所示。

表 1-1 计算机中常用的进位数制的表示

进位制	二进制	八进制	十进制	十六进制
规则	逢二进一	逢八进一	逢十进一	逢十六进一
基数	$r=2$	$r=8$	$r=10$	$r=16$
数符	0,1	0,1,2,...,7	0,1,2,...,9	0,1,2,...,9,a/A,b/B,...,f/F
权	2^i	8^i	10^i	16^i
表示符	B	O	D	H

各种数制之间相互转换的方法如下:

- 二进制数转换成十进制数的方法是:将二进制数的每一位乘以它的权,然后相加,即可求得对应的十进制数值。

例如,把二进制数 100110.101 转换成相应的十进制数:

$$(100110.101)_2 = 1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} = 38.625$$

- 将十进制数转换成二进制数时,整数部分和小数部分分别转换,然后合并。十进制整数转换为二进制整数的方法是“除以 2 取余”;十进制小数转换为二进制小数的方法是“乘以 2 取整”。具体步骤可参看相关书籍,在此不再详述。

十进制数转换成二进制数还有一种简便的方法:把一个十进制数写成按二进制数权的大小展开的多项式,按权值从高到低依次取各项的系数就可得到相应的二进制数。

例如，把十进制数 175.71875 转换为相应的二进制数：

$$(175.71875)_{10} = 2^7 + 2^5 + 2^3 + 2^2 + 2^1 + 2^0 + 2^{-1} + 2^{-3} + 2^{-4} + 2^{-5} = (10101111.10111)_2$$

- 十进制数转换为八进制数的方法是：对于十进制整数采用“除以 8 取余”的方法转换为八进制整数；对于十进制小数则采用“乘以 8 取整”的方法转换为八进制小数。
- 二进制数转换成八进制数的方法是：从小数点起，把二进制数每 3 位分成一组，然后写出每一组的等值八进制数，顺序排列起来就得到所要求的八进制数。
- 同理，将一位八进制数用 3 位二进制数表示，就可以直接将八进制数转换成二进制数。

二进制数、八进制数和十六进制数之间的对应关系如表 1-2 所示。

表 1-2 二进制数、八进制数和十六进制数之间的对应关系

二进制	八进制	二进制	十六进制
000	0	0000	0
001	1	0001	1
010	2	0010	2
011	3	0011	3
100	4	0100	4
101	5	0101	5
110	6	0110	6
111	7	0111	7
		1000	8
		1001	9
		1010	a/A
		1011	b/B
		1100	c/C
		1101	d/D
		1110	e/E
		1111	f/F

例如，把二进制数 10101111.10111 转换为相应的八进制数：

$$(10\ 101\ 111.101\ 11)_2 = (257.56)_8$$

- 十进制数转换为十六进制数的方法是：十进制整数部分“除以 16 取余”，十进制数的小数部分“乘以 16 取整”，进行转换。
- 二进制数转换成十六进制的方法是：从小数点起，把二进制数每 4 位分成一组，然后写出每一组的等值十六进制数，顺序排列起来就得到所要求的十六进制数。

例如，把二进制数 10101111.10111 转换为相应的十六进制数：

$$(1010\ 1111.1011\ 1)_2 = (AF.B8)_{16}$$

2. 二进制运算规则

加法：二进制加法的进位规则是“逢二进一”。

$$0+0=0 \quad 1+0=1 \quad 0+1=1 \quad 1+1=0 \text{ (有进位)}$$

减法：二进制减法的借位规则是“借一当二”。

$$0-0=0 \quad 1-0=1 \quad 1-1=0 \quad 0-1=1 \text{ (有借位)}$$

乘法：二进制乘法规则是：

$$0 \times 0=0 \quad 1 \times 0=0 \quad 0 \times 1=0 \quad 1 \times 1=1$$

除法：二进制除法是乘法的逆运算，其运算方法与十进制除法是类似的。

3. 机器数和码制

各种数据在计算机中表示的形式称为机器数，其特点是采用二进制计数制，数的符号用 0、1 表示，小数点则隐含表示，不占位置。机器数对应的实际数值称为数的真值。

机器数有无符号数和带符号数之分。无符号数表示正数，在机器数中没有符号位。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机器数的最高位之前，则是纯小数。对于带符号数，机器数的最高位是表示正、负的符号位，其余位则表示数值。若约定小数点的位置在机器数的最低数值位之后，则是纯整数；若约定小数点的位置在机器数的最高数值位之前（符号位之后），则是纯小数。

为了便于运算，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，机器数的这些编码方法称为码制。

1) 原码表示法

数值 X 的原码记为 $[X]_{\text{原}}$ 。设机器字长为 n （即采用 n 个二进制位表示数据），则最高位是符号位，0 表示正号，1 表示负号；其余 $n-1$ 位表示数值的绝对值。数值零的原码表示有两种形式： $[+0]_{\text{原}}=00000000$ ， $[-0]_{\text{原}}=10000000$ （设 $n=8$ ）。

例如，若机器字长 n 等于 8，则：

$$\begin{array}{ll} [+1]_{\text{原}}=0000\ 0001 & [-1]_{\text{原}}=1000\ 0001 \\ [+127]_{\text{原}}=0111\ 1111 & [-127]_{\text{原}}=1111\ 1111 \\ [+45]_{\text{原}}=0010\ 1101 & [-45]_{\text{原}}=1010\ 1101 \\ [+0.5]_{\text{原}}=0\Diamond 100\ 0000 & [-0.5]_{\text{原}}=1\Diamond 100\ 0000, \text{其中}\Diamond\text{是小数点的位置。} \end{array}$$

2) 反码表示法

数值 X 的反码记作 $[X]_{\text{反}}$ 。设机器字长为 n ，则最高位是符号位，0 表示正号，1 表示负号，正数的反码与原码相同，负数的反码则是其绝对值按位求反。数值零的反码表示有两种形式： $[+0]_{\text{反}}=00000000$ ， $[-0]_{\text{反}}=11111111$ （设 $n=8$ ）。

例如，若机器字长 n 等于 8，则：

$$\begin{array}{ll} [+1]_{\text{反}}=0000\ 0001 & [-1]_{\text{反}}=1111\ 1110 \\ [+127]_{\text{反}}=0111\ 1111 & [-127]_{\text{反}}=1000\ 0000 \\ [+45]_{\text{反}}=0010\ 1101 & [-45]_{\text{反}}=1101\ 0010 \\ [+0.5]_{\text{反}}=0\Diamond 100\ 0000 & [-0.5]_{\text{反}}=1\Diamond 011\ 1111, \text{其中}\Diamond\text{是小数点的位置。} \end{array}$$

3) 补码表示法

数值 X 的补码记作 $[X]_{\text{补}}$ 。设机器字长为 n ，则最高位是符号位，0 表示正号，1 表示负号，正数的补码与原码相同，负数的补码则是其反码的末尾加 1。在补码表示中，0 的补码是唯一的： $[+0]_{\text{补}}=00000000$ ， $[-0]_{\text{补}}=00000000$ （设 $n=8$ ）。

例如，若机器字长 n 等于 8，则：

$$\begin{array}{ll} [+1]_{\text{补}}=0000\ 0001 & [-1]_{\text{补}}=1111\ 1111 \\ [+127]_{\text{补}}=0111\ 1111 & [-127]_{\text{补}}=1000\ 0001 \end{array}$$

$[+45]_{\text{补}} = 0010\ 1101$
 $[-45]_{\text{补}} = 1101\ 0011$
 $[+0.5]_{\text{补}} = 0\Diamond 100\ 0000$
 $[-0.5]_{\text{补}} = 1\Diamond 100\ 0000$, 其中 $\Diamond$ 是小数点的位置。

4. 定点数和浮点数

1) 定点数

所谓定点数, 就是小数点的位置固定不变的数。小数点的位置通常有两种约定方式: 定点整数 (纯整数, 小数点在最低有效数值位之后) 和定点小数 (纯小数, 小数点在最高有效数值位之前)。

设机器字长为 n , 各种码制表示下的带符号数的范围如表 1-3 所示。

表 1-3 各种码制表示下的带符号数的范围

码制	定点整数	定点小数
原码	$-(2^{n-1}-1) \sim +(2^{n-1}-1)$	$-(1-2^{-(n-1)}) \sim +(1-2^{-(n-1)})$
反码	$-(2^{n-1}-1) \sim +(2^{n-1}-1)$	$-(1-2^{-(n-1)}) \sim +(1-2^{-(n-1)})$
补码	$-2^{n-1} \sim +(2^{n-1}-1)$	$-1 \sim +(1-2^{-(n-1)})$

2) 浮点数

当机器字长为 n 时, 定点数的补码可表示 2^{n-1} 个数, 而其原码和反码只能表示 $2^{n-1}-1$ 个数 (0 的表示占用了两个编码), 因此, 定点数所能表示的数值范围比较小, 运算中很容易因结果超出范围而溢出。因此, 引入浮点数, 浮点数是小数点位置不固定的数, 它能表示更大范围的数。

与十进制数类似, 一个二进制数也可以写成多种表示形式。例如, 二进制数 1011.10101 可以写成 $0.1011\ 10101 \times 2^4$ 、 $0.01011\ 10101 \times 2^5$ 、 $0.001011\ 10101 \times 2^6$, 等等。由此可知, 一个二进制数 N 可以表示为更一般的形式:

$$N = 2^E \times M$$

其中, E 称为阶码, M 称为尾数。用阶码和尾数表示的数称为浮点数, 这种表示数的方法称为浮点表示法。

在浮点表示法中, 阶码通常为带符号的纯整数, 尾数为带符号的纯小数。浮点数的表示格式如下:

阶符	阶码	数符	尾数
----	----	----	----

很明显, 一个数的浮点表示不是唯一的。当小数点的位置改变时, 阶码也随着相应改变, 因此可以用多种浮点形式表示同一个数。

浮点数所能表示的数值范围主要由阶码决定, 所表示数值的精度则由尾数决定。为了充分利用尾数来标识更多的有效数字, 通常采用规格化浮点数。规格化就是将尾数的绝对值限定在区间 $[0.5, 1]$ 。当尾数用补码表示时, 需要注意:

(1) 若尾数 $M \geq 0$, 则其规格化的尾数形式为 $M = 0.1 \times \times \cdots \times$, 其中 $\times$ 可为 0, 也可为 1, 即将尾数 M 的范围限定在区间 $[0.5, 1]$ 。

(2) 若尾数 $M < 0$, 则其规格化的尾数形式为 $M = 1.0 \times \times \cdots \times$, 其中 $\times$ 可为 0, 也可为 1, 即将尾数 M 的范围限定在区间 $[-1, -0.5]$ 。

5. 十进制数与字符的编码表示

数值、文字和英文字母等都认为是字符, 任何字符进入计算机时, 都必须转换成二进