



21st CENTURY
规划教材

面向21世纪大学计算机基础课程规划教材

BASIC COMPUTER COURSES FOR UNDERGRADUATE EDUCATION

微型计算机原理及接口技术应用

THE PRINCIPLE OF MICROCOMPUTER AND INTERFACE TECHNOLOGY

范会敏 李晋惠 主 编
秦 义 辛大欣 副主编



科学出版社

www.sciencepress.com



面向21世纪大学计算机基础课程规划教材

BASIC COMPUTER COURSES FOR UNDERGRADUATE EDUCATION

微型计算机原理及接口技术应用

范会敏 李晋惠 主 编

秦 义 辛大欣 副主编

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书根据高等院校理工科专业学生学习、应用计算机的特点,系统介绍了微型计算机的原理及接口技术应用基础。主要包括微型计算机及其基本组成部分、微型计算机的基本结构、Intel 不同字长微处理器的结构和特点、80X86 指令系统及汇编语言程序设计基础、半导体存储器、I/O 技术、典型接口芯片的使用及应用、总线技术等内容。本书选材注重先进性和实用性;内容组织符合教学规律,由浅入深,循序渐进。为便于教学和读者自学,各章后面均附有习题。

本书除可作为高等院校理工科各专业的本科教材外,也可作为各类计算机应用培训班的教材以及专科教学参考书,还可供从事微机应用开发工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

微型计算机原理及接口技术应用/范会敏,李晋惠主编.—北京:科学出版社,2005

(面向21世纪大学计算机基础课程规划教材)

ISBN 7-03-015249-2

I. 微… II. ①范…②李… III. ①微型计算机-理论-高等学校-教材
②微型计算机-接口-高等学校-教材 IV. TP36

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第025056号

责任编辑:万国清 马琳/责任校对:柏连海

责任印制:吕春珉/封面设计:飞天创意

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年4月第一版 开本:787×1092 1/16
2005年4月第一次印刷 印张:15 1/2
印数:1—3 000 字数:344 000

定价:21.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换<环伟>)

销售部电话:010-62136131 编辑部电话:010-62138978-8004 (HI02)

前 言

随着计算机技术的高速发展，微型计算机在各行各业中的应用也在不断普及和深入，它已成为每个专业技术人员必备的基础知识。在这种形势下，几乎所有的理工类高等院校，都向工科专业的学生开设了微机原理课程。

为了满足教学需要，我们编写了本书。本书根据高等院校理工科专业学习、应用计算机的特点，系统介绍了微型计算机的原理及接口技术应用基础，主要包括微型计算机及其基本组成、微型计算机的基本结构、Intel 不同字长微处理器的结构和特点、80X86 指令系统及汇编语言程序设计基础、半导体存储器、I/O 技术及典型接口芯片的使用及应用、总线技术等内容。本书的主要对象是非计算机专业的学生，内容面向应用。

本书共分 9 章。第 1 章微型计算机系统概述，简要介绍有关计算机的基本知识、微型计算机的发展与应用、微型计算机的性能指标及基本结构。第 2 章 80X86 微处理器，系统介绍了 Intel 80X86 系列微处理器，详细介绍了 Intel 8088 至 80486 微处理器的基本结构、工作方式、各组成部分及有关功能等。第 3 章 80X86 的寻址方式和指令系统，详细介绍了寻址方式及指令系统，同时列举了一些程序，帮助读者深入理解其指令的功能。第 4 章汇编语言程序设计，介绍了汇编语言程序设计，包括常用的伪指令格式及汇编语言源程序的设计方法等内容。第 5 章半导体存储器，介绍了半导体存储器的分类和功能、存储器的组成及存储原理、存储器芯片的接口特性以及与系统总线的连接等。第 6 章输入/输出技术，论述了计算机接口的基本功能和端口的编址方式、微处理器与接口交换信息的基本概念和常用方式。第 7 章常用的可编程接口芯片，主要介绍了常用并行和串行接口芯片的结构及其与 CPU 的接口方式和编程。第 8 章基本人机交互接口，主要介绍了计算机常用外围设备及接口的工作原理。第 9 章总线技术，主要描述总线的有关概念，总线的类别及功能，常用总线的有关规范等。每章后都附有习题，以便帮助读者理解和掌握相关内容。

本书由范会敏、李晋惠任主编，秦义、辛大欣任副主编，参加编写的还有吴凯、茹媛、马静和赵宇峰。全书由范会敏统稿。

由于编者水平有限，书中难免有谬误之处，敬请广大读者批评指正。

目 录

第 1 章 微型计算机系统概述	1
1.1 概述	1
1.1.1 微型计算机的发展概况	1
1.1.2 微型计算机的应用	2
1.1.3 微型计算机的分类	4
1.1.4 微型计算机的主要性能指标	4
1.2 微型计算机的运算基础	4
1.2.1 带符号数的表示及其运算	5
1.2.2 十进制数与字符的表示	7
1.2.3 定点数与浮点数	10
1.3 微型计算机系统的组成和工作过程	11
1.3.1 微型计算机的硬件系统	11
1.3.2 微型计算机的软件系统	13
1.3.3 微型计算机的层次	13
1.3.4 微型计算机的工作过程	14
习题	15
第 2 章 80X86 微处理器	17
2.1 典型 8 位/16 位微处理器	17
2.1.1 8088 微处理器外部引脚及功能	17
2.1.2 8088 的内部结构	21
2.1.3 8088 的时序	24
2.1.4 存储器管理	26
2.2 增强型标准 16 位微处理器简介	27
2.2.1 80186 微处理器	27
2.2.2 80286 微处理器	27
2.3 32 位微处理器	30
2.3.1 80386 微处理器	30
2.3.2 80486 微处理器	30
2.4 64 位微处理器简介	41
2.4.1 Pentium 微处理器	41
2.4.2 Pentium pro 微处理器	43
2.4.3 Pentium II 微处理器	43
习题	44

第3章 80X86 的寻址方式和指令系统	46
3.1 与操作数有关的寻址方式	47
3.1.1 立即寻址方式	47
3.1.2 寄存器寻址方式	47
3.1.3 直接寻址方式	48
3.1.4 寄存器间接寻址方式	49
3.1.5 寄存器相对寻址方式	50
3.1.6 基址变址寻址方式	50
3.1.7 相对基址变址寻址方式	51
3.1.8 与比例因子有关的寻址方式	52
3.2 与转移地址有关的寻址方式	52
3.2.1 段内直接寻址	53
3.2.2 段内间接寻址	53
3.2.3 段间直接寻址	53
3.2.4 段间间接寻址	53
3.3 数据传送指令	54
3.3.1 通用数据传送指令	54
3.3.2 堆栈操作指令	56
3.3.3 地址传送指令	57
3.3.4 标志寄存器传送指令	58
3.3.5 与累加器有关的传送指令	59
3.3.6 符号扩展指令	59
3.4 算术运算指令	60
3.4.1 加法指令	60
3.4.2 减法指令	61
3.4.3 乘法指令	62
3.4.4 除法指令	63
3.5 逻辑运算指令	64
3.5.1 AND 逻辑与指令	64
3.5.2 OR 逻辑或指令	64
3.5.3 NOT 逻辑非指令	65
3.5.4 XOR 逻辑异或指令	65
3.5.5 TEST 测试指令	65
3.5.6 位操作指令	65
3.6 移位操作指令	66
3.6.1 算术移位指令	66
3.6.2 逻辑移位指令	67

3.6.3 双精度移位指令	67
3.6.4 循环移位指令	67
3.6.5 带进位的循环移位指令	68
3.7 串操作指令	68
3.7.1 字符串传送指令	69
3.7.2 字符串比较指令	69
3.7.3 字符串扫描指令	69
3.7.4 取字符串指令	69
3.7.5 存字符串指令	70
3.7.6 字符串输入指令	70
3.7.7 字符串输出指令	70
3.8 控制转移指令	71
3.8.1 无条件转移指令	71
3.8.2 条件转移指令	71
3.8.3 循环控制指令	73
3.9 处理器控制指令	73
3.9.1 标志位操作指令	73
3.9.2 处理器控制指令	74
习题	74
第4章 汇编语言程序设计	77
4.1 汇编程序	77
4.2 汇编语言程序格式	77
4.2.1 汇编语言语句及格式	77
4.2.2 汇编语言的表达式和运算符	79
4.3 伪指令语句	81
4.3.1 数据定义伪指令	81
4.3.2 符号定义伪指令	83
4.3.3 段定义伪指令	84
4.3.4 定位伪指令	85
4.3.5 过程定义伪指令	86
4.4 汇编语言程序上机过程	88
4.4.1 编辑源程序	89
4.4.2 汇编源程序	89
4.4.3 连接目标程序文件生成可执行文件	90
4.4.4 程序的执行	91
4.5 汇编语言程序设计	91
4.5.1 顺序结构程序设计	91
4.5.2 分支结构程序设计	92
4.5.3 循环结构程序设计	94

4.5.4 子程序设计	96
4.6 宏汇编与条件汇编	104
4.6.1 宏汇编	104
4.6.2 条件汇编	106
习题	107
第5章 半导体存储器	109
5.1 概述	109
5.1.1 存储器系统的结构	109
5.1.2 存储器的分类	110
5.1.3 半导体存储器的主要性能指标	111
5.2 读写存储器	113
5.2.1 读写存储器的组成——单元矩阵结构及地址选择	113
5.2.2 静态读写存储器	113
5.2.3 动态读写存储器	117
5.3 只读存储器	122
5.3.1 可擦除的可编程只读存储器	123
5.3.2 电可擦除的可编程只读存储器	126
5.4 半导体存储器与 CPU 的连接	127
5.4.1 存储器芯片的选择	127
5.4.2 存储器芯片与系统总线的连接	130
5.4.3 存储器系统设计举例	132
习题	133
第6章 输入/输出技术	135
6.1 I/O 接口概述	135
6.1.1 I/O 设备与 I/O 接口	135
6.1.2 I/O 接口的分类	135
6.1.3 I/O 接口的基本功能	136
6.1.4 I/O 接口的基本结构	137
6.2 I/O 端口的编址方式	138
6.2.1 I/O 端口与内存单元统一编址	138
6.2.2 I/O 端口与内存单元独立编址	138
6.3 输入/输出控制方式	139
6.3.1 程序控制传送方式	139
6.3.2 中断控制方式	142
6.3.3 直接存储器存取方式——DMA 方式	142
6.4 中断方式	144
6.4.1 概述	144
6.4.2 80X86 的中断响应与处理过程	147
6.4.3 中断优先级及中断嵌套	149

习题	150
第7章 常用的可编程接口芯片	152
7.1 常用的接口芯片概述	152
7.2 可编程并行接口 8255A	152
7.2.1 8255A 的内部结构	152
7.2.2 8255A 引脚分配	154
7.2.3 8255A 的工作方式及编程	156
7.2.4 8255A 的三种工作方式的功能及应用	157
7.2.5 8255A 应用举例	159
7.3 可编程串行通信接口 8251A	160
7.3.1 串行通信概述	160
7.3.2 8251A 的内部结构	162
7.3.3 8251A 的编程	164
7.3.4 8251A 的接口技术与应用举例	167
7.4 可编程计数器/定时器 8253	171
7.4.1 8253 的内部结构和功能	171
7.4.2 8253 的工作方式	173
7.4.3 8253 的编程	178
7.4.4 应用举例	178
习题	179
第8章 基本人机交互接口	180
8.1 微型计算机键盘接口	180
8.1.1 键盘的基本工作原理	180
8.1.2 键盘与主机之间的通信方式	187
8.2 鼠标器的接口	188
8.2.1 各种鼠标器的接口概述	189
8.2.2 鼠标器的工作原理	189
8.3 显示器与显示卡	190
8.3.1 阴极射线管显示器	191
8.3.2 液晶显示器	192
8.3.3 显示卡	195
习题	197
第9章 总线技术	198
9.1 总线概述	198
9.1.1 总线规范的基本内容	198
9.1.2 总线的分类	199
9.1.3 采用标准总线的优点	200
9.2 局部总线	200
9.2.1 IBM PC 总线结构	201

9.2.2 PCI 局部总线·····	203
9.3 系统总线·····	208
9.3.1 目前常用的系统总线简介·····	208
9.3.2 ISA 工业标准系统总线·····	208
9.3.3 EISA 扩展的工业标准结构系统总线·····	211
9.3.4 STD 总线·····	213
9.4 通信总线·····	217
9.4.1 SCSI 总线·····	217
9.4.2 RS-232C 总线·····	220
9.4.3 RS-423C 及 RS-422A 总线·····	225
9.4.4 USB 通用串行总线·····	225
9.4.5 IEEE1394 通用串行总线·····	228
习题·····	231
参考文献·····	233

第 1 章 微型计算机系统概述

1.1 概 述

1.1.1 微型计算机的发展概况

计算机的发展从一开始就和电子技术，特别是微电子技术密切相关。通常按照构成计算机所采用的电子器件及其电路的变革，把计算机划分为若干“代”来标志计算机的发展。自 1946 年世界上第一台电子计算机 ENIAC 诞生以来，计算机技术飞速发展，在短短的几十年里，计算机的发展已经经历了 4 代：电子管计算机、晶体管计算机、中小规模集成电路计算机和大规模、超大规模集成电路计算机。目前，各国正加紧研制开发第 5 代计算机，其目标主要是：采用超大规模集成电路，在系统结构上要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，在计算机体系结构上采用并行的数据流计算等。

微型计算机属于第 4 代计算机，是 20 世纪 70 年代初期研制成功的。一方面是由于军事、空间及自动化技术的发展，需要体积小、功耗低、可靠性高的计算机；另一方面，大规模集成电路技术的不断发展也为微机的产生奠定了基础。

自 1971 年微型计算机问世以来，微处理器和微型计算机迅速发展，几乎每两年微处理器的集成度就要翻一番，每 2~4 年更新换代一次，至今已经经历了 5 个阶段的演变。

第一阶段（1971~1973 年）是 4 位或低档 8 位微处理器和微型计算机时代，其典型产品是 Intel 公司 1971 年研制成功的 4 位微处理器 4004，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，随后又推出低档 8 位微处理器 8008 及 MCS-8 微型计算机，它们的基本特点是采用 PMOS 工艺，集成度低（1 200~2 000 晶体管/片），系统结构和指令系统比较简单，主要采用机器语言或简单的汇编语言，没有操作系统，运算能力差，速度低（指令的平均执行时间约 10~20 μ s），主要用于工业仪表、过程控制或计算器中。

第二阶段（1974~1977 年）是中高档 8 位微处理器和微型计算机时代，其典型产品是 Intel 公司的 8080/8085，Motorola 公司的 MC6800 以及 Zilog 公司的 Z80 微处理器。它们的特点是采用 NMOS 工艺，集成度提高 4 倍左右（5 000~9 000 晶体管/片），运算速度提高 10~15 倍（指令的平均执行时间约 1~2 μ s），指令系统相对比较完善，已具有典型计算机体系结构以及中断、DMA 等控制功能。由第二代微处理器构成的微机系统（如 Apple-II 等）已经配有单用户操作系统（如 PC/M），并可使用汇编语言及 BASIC、FORTRAN 等高级语言编程。

第三阶段（1978~1984 年）是 16 位处理器和微型计算机时代，其典型产品是 Intel 公司的 8086/8088，Motorola 公司的 MC68000 及 Zilog 公司的 Z8000 微处理器。它们的

特点是采用 HMOS 工艺, 集成度 (20 000~70 000 只晶体管/片) 和运算速度 (指令的平均执行时间约 $0.5\mu\text{s}$) 比第二代产品提高了一个数量级, 指令系统更加丰富、完善, 采用多处理机系统、多级中断系统、多种寻址方式、段式存储器管理、硬件乘除部件, 并配置了强有力的软件系统。这一时期的微机有 IBM PC/XT (8088)、IBM PC/AT (80286) 及其兼容机等。

第四阶段 (1985~1991 年) 是 32 位微处理器和微型计算机时代, 其典型产品是 Intel 公司的 80386/80486, Motorola 公司的 MC68030/68040 等微处理器以及相应的 IBM PC 兼容机, 如 386、486 等。它们的特点是采用 HMOS 或 CMOS 工艺, 集成度高达 100 万只晶体管/片以上, 具有 32 位数据和 32 位地址总线, 工作主频达 25MHz 以上, 基本指令的工作速度达到或超过 25MIPS (million of instructions per second)。微机的功能已经达到甚至超过超级小型机, 完全可以胜任多用户、多任务的作业。

第五阶段 (1992 年以后) 是奔腾系列微处理器和奔腾系列微型计算机时代, 其典型产品是 Intel 公司的 Pentium, 内部采用超标量指令流水结构, 具有相互独立的指令和数据高速缓存, 工作频率愈来愈高, 基本指令的工作速度越来越快。随着 MMX (multi-media extended) 和 Pentium II/Pentium III 微处理器的出现, 使微机的发展在网络化、智能化和多媒体化方面跨上了更高的台阶。

应该指出, Pentium、PentiumPro 以及具有 MMX 技术的 Pentium 和 Pentium II/Pentium III, 尽管它们的内部与工作寄存器直接相连的是 32 位数据宽度, 但外部数据总线却是 64 位。

下一阶段的处理器是 64 位的时代, 如 AMD 的 Athlon 64 处理器。

1.1.2 微型计算机的应用

计算机的应用形式和应用领域几乎遍及人类社会的各个领域: 从军事部门到民用部门, 从科学教育到文化艺术, 从生产领域到消费娱乐, 从国民经济各部门到家庭生活, 到处都可以见到计算机的应用。

这里将计算机的应用归结为以下几个方面。

1. 科学计算

计算机最初就应用于科学计算方面, 主要是指计算机应用于完成科学研究和工程技术计算中所提出的数学问题, 例如, 数学、化学、物理学、天文学、生物学等基础学科的研究, 而卫星轨道、材料结构受力分析、核反应方程式、航天飞机设计、地质勘探、水力发电、天气预报也要用到大量的计算, 用一般的计算工具或靠人工来计算非常费时费力, 使用高速运算的计算机就能很好地解决这一问题。

2. 信息处理

信息在当今社会是人类赖以生存和交际的媒介。信息已成为人类社会的第三类资源。信息处理的范围相当广泛, 企业管理、库存管理、报表统计、情报检索、公文函件处理等都属于信息处理。计算机在信息处理方面的应用已深入到经济、市场、金融、商业、财政、法律、行政管理、社会普查各个方面, 例如: 火车票、飞机票的预订系统,

国家级考试中考生录取与统计系统, 物资管理与调度系统, 工资计算与统计系统, 股票的查询与交易系统, 图像处理系统等。

3. 自动控制

自动控制是涉及面极广的一门科学, 主要应用于工业、农业、国防、科学技术以及人们的日常生活等各个领域。目前国内外大约有 20% 的微型机用于生产过程的自动控制。用于控制的计算机, 其输入信息往往是电压、温度、位移等模拟量, 而计算机进行处理或计算的是数字量, 所以要先将模拟量转换成数字量, 计算机处理完后得到的数字量一般也要将它转换成模拟量才能去控制对象。因此, 在计算机控制系统中, 需要设置专门的数/模转换器和模/数转换器。把计算机用于生产过程的实时控制, 可大大提高生产自动化水平, 提高劳动生产率和产品质量, 降低生产成本, 缩短生产周期。

4. 计算机辅助设计和制造

由于计算机有快速的数值计算和较强的数据处理能力, 在设计产品和制造商品的过程中可以利用计算机进行辅助设计和辅助制造。计算机辅助设计 (CAD) 是指利用计算机来帮助设计人员进行设计工作, 一般分为产品设计和工程设计。计算机辅助制造 (CAM) 是指利用计算机进行生产设备的管理、控制和操作。由于微型计算机的迅速发展, 计算机 CAD/CAM 系统得到了较快的发展, 以前必须借助于工作站才能完成的工作现在都可以移到微机上了, CAD/CAM 系统也从二维工程绘图扩展到三维造型和数控加工。

5. 文化教育

计算机广泛应用于教育被称为“教育史上的第四次革命”。利用多媒体技术开发的计算机辅助教学 (CAI) 改变了传统的教学方法, CAI 课件可以通过图像、动画、声音的配合, 使学生得到生动活泼的学习, 提高了学生的学习兴趣和学习效果, 使学生能够轻松自如的学到所需要的知识。

6. 医疗卫生

计算机在医疗卫生方面的使用使病人得到了更好的诊断和治疗, 如 CT 图像处理技术, 心电图、脑电图的分析仪等的使用, 为及早诊断疾病提供了强有力的手段; 同时, 现在开发的专家诊疗系统也为疾病的诊治发挥了不可轻视的作用。

7. 计算机通信

计算机网络技术的发展促进了计算机通信应用业务的开展。目前, 完善网络系统和加强国际间的信息交流已成为世界各国经济发展、科技进步的战略措施之一。多媒体技术的发展使计算机通信由单纯的数据通信扩展到音频、视频和动态图像的通信。随着数字网络的广泛应用, 网上会议、网上医疗、网上理财、电子商务等网上通信活动已进入了人们的生活。

1.1.3 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。

- ① 按微处理器的字长, 可分为 4 位、8 位、16 位、32 位和 64 位微处理器。
- ② 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。
- ③ 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。

1.1.4 微型计算机的主要性能指标

1. 字长

字长是指计算机内部一次可以处理的二进制数据的位数。一般计算机的字长取决于它的通用寄存器、运算器部件、数据总线的宽度。字长是表征计算机运算精度的主要参数。微型计算机字长有 4 位、8 位、16 位, 高档微机字长为 32 位或 64 位。

2. 存储容量

存储器容量是衡量计算机存储二进制信息量大小的一个重要指标。存储容量主要包括内存存储器的容量和辅助存储器的容量。内存容量以字节为单位, 分最大容量和装机容量。最大容量由 CPU 的地址总线的位数决定, 而装机容量按所使用软件环境来定。辅存容量是指磁盘机和光盘机等容量, 应根据实际应用的需要来配置。

3. 主频

主频是指微型计算机中 CPU 的时钟频率 (CPU clock speed), 也就是 CPU 运算时的工作频率。一般来说, 主频越高, 一个时钟周期里完成的指令数也越多, 当然 CPU 的速度就越快。

4. 存取周期

把信息存入计算机存储器的过程称为“写”, 把信息从计算机中取出的过程称为“读”。两次读写操作所需要间隔的最短时间称为存取周期。现在计算机的存取周期约为几十纳秒。

5. 外设扩展能力

一台微型计算机可配置外部设备的数量以及配置外部设备的类型, 对整个系统的性能有重大影响。如显示器的分辨率、多媒体接口功能和打印机型号等, 都是外部设备选择中要考虑的问题。

1.2 微型计算机的运算基础

在计算机中所有信息都是以二进制的形式表示的。这是因为二进制表示的数只有两种形式 0 或 1, 对于计算机来说这种表示很容易用两个稳态的二值电路实现。为便于人

们书写和阅读,经常使用八进制数或十六进制数来表示二进制数。学习计算机知识,十进制、十六进制、二进制和八进制都是应该掌握的数制,在此不作赘述。

1.2.1 带符号数的表示及其运算

在某些情况下,计算机处理的数可以不考虑它的符号,这样的数称为无符号数。8位无符号二进制数的表示范围是 $0 \leq N \leq 255$,16位无符号二进制数的表示范围是 $0 \leq N \leq 65535$,32位无符号二进制数的表示范围是 $0 \leq N \leq 2^{32} - 1$ 。在计算机中最常用的无符号整数是表示地址的数。

一个数若考虑它的符号,称为带符号数。计算机中所有的信息必须全部都用二进制表示,数的符号也是用二进制表示的。为了方便计算机中的数与实际值的区分,在这里引入机器数和真值的概念。

机器数:一个数连同其符号位在内数值化表示的数称为机器数。一般用最高有效位来表示数的符号。正数用0表示,负数用1表示。

真值:一般书写所表示的带有“+”、“-”的数。

带符号数的机器数表示方法通常有原码、反码和补码三种表示方法。

1. 原码

将一个数的符号用0或1表示(最高符号位为0表示正数,为1表示负数),数值部分保持不变用多位二进制数表示,就得到该数的原码。通常用 $[X]_{\text{原}}$ 表示X的原码。 $[X]_{\text{原}}$ 为机器数,X为真值。

例如: $X = (+45)_{10}$,如果用8位二进制数表示, $[X]_{\text{原}} = (00101101)_2$;如果用16位二进制数表示, $[X]_{\text{原}} = (000000000101101)_2$ 。又如: $X = (-45)_{10}$,如果用8位二进制数表示, $[X]_{\text{原}} = (10101101)_2$;如果用16位二进制数表示, $[X]_{\text{原}} = (100000000101101)_2$ 。

要注意的是,在原码表示法中,0有“正0”和“负0”两种情况。

$$[+0]_{\text{原}} = (00000000)_2, [-0]_{\text{原}} = (10000000)_2$$

一般采用正0表示法表示0的原码。

8位二进制数的原码能表示的数值范围为:最大数的原码为01111111(+127),最小数为11111111(-127)。n位二进制数的原码所能表示的数的范围是 $-(2^{n-1}-1) \sim 2^{n-1}-1$ 。

原码表示法简单易懂,但是进行减法运算时就显得很不方便。因此这种表示方法现已不太使用。

2. 反码

对于正数的反码与其原码相同,负数的反码是把其原码除符号位外的各位取反(即0变1,1变0)。通常用 $[X]_{\text{反}}$ 表示X的反码。

例如: $[+45]_{\text{反}} = [+45]_{\text{原}} = (00101101)_2$;由于 $[-32]_{\text{原}} = (10100000)_2$,所以 $[-32]_{\text{反}} = (11011111)_2$ 。

$$[+0]_{\text{反}} = [+0]_{\text{原}} = (00000000)_2, [-0]_{\text{原}} = (10000000)_2, [-0]_{\text{反}} =$$

$(11111111)_2$ ，因此 0 的反码表示也有两种。

8 位二进制数的反码能表示的数值范围是 $-127 \sim +127$ 。n 位二进制数的反码所能表示的数的范围是 $-(2^{n-1}-1) \sim 2^{n-1}-1$ 。

用原码和反码表示带符号数时，0 有两种表示方法，使用起来不方便，运算时也很麻烦，为了解决这个问题，又引入了补码。

3. 补码

补码(数)的概念是什么？在日常生活中，我们常会遇到“补数”的概念。例如时钟现在指示 6 点，欲使它指示 3 点，我们有两种方法，既可按顺时针方向将分针转 9 圈，又可按逆时针方向将分针转 3 圈，结果是一样的。假设顺时针方向转为正，逆时针方向转为负，则有

$$6 - 3 = 3, \quad 6 + 9 = 15$$

由于时钟的时针转一圈能指示 12 个小时，“12”在时钟里是不被显示而自动丢失的，即 $15 - 12 = 3$ ，故 15 点和 3 点均显示 3 点。这样 -3 和 $+9$ 对时钟而言作用是一样的。在数学上称 12 为模，写作 $\text{mod } 12$ ，而称 $+9$ 是 -3 以 12 为模的补数，或者说对 12 而言， -3 和 $+9$ 是互为补数的。记作

$$-3 = +9 \pmod{12}$$

同理有

$$-4 = +8 \pmod{12}$$

$$-5 = +7 \pmod{12}$$

可见，只要确定了“模”，就可找到一个与负数等价的正数来代替此负数，这样就可把减法运算用加法实现。由此可得如下结论。

- ① 一个负数可用它的正补数来代替，而这个正补数可以用模加上负数本身求得。
- ② 两个互为补数的数，它们绝对值之和即为模数。
- ③ 正数的补数即该正数本身。

将补数的概念用到计算机中，便出现了补码这种机器数。

用补码表示带符号数的方法是：正数的表示方法与原码和反码一样；负数的表示方法为将该负数的原码除符号位外，每位取反，末位加 1。通常用 $[X]_{\text{补}}$ 表示 X 的补码。例如： $[+4]_{\text{补}} = (00000100)_2$ ；求 $[-4]_{\text{补}}$ 时，可先由 $[-4]_{\text{原}} = (10000100)_2$ ，将其原码除符号位外按位取反末位加 1，得到 $[-4]_{\text{补}} = (11111100)_2$ 。

显然， $[+0]_{\text{补}} = [-0]_{\text{补}} = (00000000)_2$ ，在补码表示中，0 的表示是唯一的。

8 位二进制数的补码能表示的数值范围是 $-128 \sim +127$ ，即 $(10000000)_2 \sim (01111111)_2$ 。对于 n 位二进制数的补码所能表示的数的范围是 $-2^{n-1} \sim 2^{n-1}-1$ 。

在计算机中，带符号数通常是用补码来表示的。在补码的使用中，除了将十进制数的真值表示为补码外，还经常要将一个补码转换为带符号的十进制数，即已知补码求其真值。对于正数，可以直接求得；对于符号位为 1 的负数，则先要按位变反，末位加 1 求得真值的绝对值后，再加上负号。例如， $[X]_{\text{补}} = (11110011)_2$ ，其真值的绝对值为 $(00001101)_2 = (13)_{10}$ ，故 $X = (-13)_{10}$ 。

4. 补码的运算

计算机中凡是带符号数一律用补码表示,使用补码进行运算是十分方便的。它不必判断数的正负,连同符号位也参加运算。而且它可以将两个数的减法运算转化为加法来实现。因此在这里我们介绍一下补码的加减法运算。

补码的运算规则是

$$[X+Y]_{\text{补}} = [X]_{\text{补}} + [Y]_{\text{补}}$$

$$[X-Y]_{\text{补}} = [X]_{\text{补}} + [-Y]_{\text{补}}$$

【例 1.1】 设 $X = 54$, $Y = -121$, 求 $X+Y$ 的值。

$$\begin{array}{r} [X]_{\text{补}} \quad 00110110 \\ + \quad [Y]_{\text{补}} \quad 10000111 \\ \hline [X+Y]_{\text{补}} \quad 10111101 \end{array} \quad (\text{最高位为符号位})$$

故 $X+Y = -67$ 。

【例 1.2】 设 $X = -67$, $Y = -33$, 求 $X+Y$ 的值。

$$\begin{array}{r} [X]_{\text{补}} \quad 10111101 \\ + [Y]_{\text{补}} \quad 11011111 \\ \hline [X+Y]_{\text{补}} \quad 10011100 \end{array} \quad (\text{最高一位自动丢失})$$

故 $X+Y = -100$ 。

在运算中,这样的结果称为双符号位。双符号位的含义是:00——结果为正,无溢出;01——结果正溢出;10——结果负溢出;11——结果为负,无溢出。溢出是指超出了补码所能表示的数据范围。

【例 1.3】 设 $X = 85$, $Y = 97$, 求 $X-Y$ 的值。

$$\begin{array}{r} [X]_{\text{补}} \quad 01010101 \\ + [-Y]_{\text{补}} \quad 10011111 \\ \hline [X-Y]_{\text{补}} \quad 11110100 \end{array}$$

故 $X-Y = -12$ 。

1.2.2 十进制数与字符的表示

1. BCD 码

人们习惯使用十进制来表示数据,而在计算机中采用的是二进制。为此,人们又采用一种二—十进制的过渡进位制来表示十进制数。它采用一组四位二进制码来表示一位十进制数,我们把这种编码方法称作二—十进制码,也称为 BCD 码 (binary code decimal)。

4 位二进制码共有 16 种组合,可从中任取 10 种组合来表示 0~9 这 10 个数。根据不同的选取方法,可以编制出很多种 BCD 码,如 8421 码、5421 码、2421 码、5211 码和余 3 码。表 1.1 列出了这几种 BCD 码,其中的 8421 BCD 码最为常用。