



普通高等教育“十五”国家级规划教材

(高职高专教育)

微机原理与接口技术

(第2版)

汪吉鹏 主 编

陈光军 副主编



高等教育出版社

普通高等教育“十五”国家级规划教材
(高职高专教育)

微机原理与接口技术

(第2版)

汪吉鹏 主 编

陈光军 副主编

高等教育出版社

内容提要

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材（高职高专教育）。

本书内容的组织以培养学生应用能力为主要目标，注重基本知识和应用技术，理论与实践相结合，对于计算机在原理与接口方面的最新发展也做了适度介绍。全书共分 13 章，主要包括微型计算机基础知识、8086/8088 微型计算机系统结构、指令系统、汇编语言程序设计、8086 微处理器结构、半导体存储器、中断、微型计算机的 I/O 接口技术、串行通信接口及应用、总线、系统扩展接口设计、数/模与模/数转换的接口设计及微型计算机应用系统设计等内容。

本书内容丰富，实用性强，既可作为高职高专及成人高校电气自动化、计算机应用、机电等相关专业的教材，也可供工程技术人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

微机原理与接口技术/汪吉鹏主编. —2 版. —北京: 高等教育出版社, 2004.7 (2007 重印)

ISBN 978-7-04-014653-0

I. 微… II. 汪… III. ①微型计算机-理论
-高等学校:技术学校-教材②微型计算机-接口-高等
学校:技术学校-教材 IV. TP36

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 044192 号

策划编辑 孙 杰 责任编辑 许海平 封面设计 王凌波 责任绘图 朱 静
版式设计 王艳红 责任校对 殷 然 责任印制 宋克学

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京印刷集团有限责任公司印刷二厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 17.25
字 数 420 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2001 年 7 月第 1 版
2004 年 7 月第 2 版
印 次 2007 年 12 月第 9 次印刷
定 价 21.80 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 14653-00

出版说明

为加强高职高专教育的教材建设工作,2000年教育部高等教育司颁发了《关于加强高职高专教育教材建设的若干意见》(教高司[2000]19号),提出了“力争经过5年的努力,编写、出版500本左右高职高专教育规划教材”的目标,并将高职高专教育规划教材的建设工作分为两步实施:先用2至3年时间,在继承原有教材建设成果的基础上,充分汲取近年来高职高专院校在探索培养高等技术应用性专门人才和教材建设方面取得的成功经验,解决好高职高专教育教材的有无问题;然后,再用2至3年的时间,在实施《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,推出一批特色鲜明的高质量的高职高专教育教材。根据这一精神,有关院校和出版社从2000年秋季开始,积极组织编写和出版了一批“教育部高职高专规划教材”。这些高职高专规划教材是依据1999年教育部组织制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》(草案)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(草案)编写的,随着这些教材的陆续出版,基本上解决了高职高专教材的有无问题,完成了教育部高职高专规划教材建设工作的第一步。

2002年教育部确定了普通高等教育“十五”国家级教材规划选题,将高职高专教育规划教材纳入其中。“十五”国家级规划教材的建设将以“实施精品战略,抓好重点规划”为指导方针,重点抓好公共基础课、专业基础课和专业主干课教材的建设,特别要注意选择一部分原来基础较好的优秀教材进行修订,使其逐步形成精品教材;同时还要扩大教材品种,实现教材系列配套,并处理好教材的统一性与多样化、基本教材与辅助教材、文字教材与软件教材的关系,在此基础上形成特色鲜明、一纲多本、优化配套的高职高专教育教材体系。

普通高等教育“十五”国家级规划教材(高职高专教育)适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校使用。

教育部高等教育司

2002年11月30日

前 言

微型计算机原理与接口技术是计算机及相关专业的一门重要的专业基础课。本书作为高职高专层次学生的教材,用通俗简明的语言,力求既讲清楚基本的原理、基本的方法,又注重技术的先进性和实用性。教材在编写过程中以 8086 为主线,力求讲解清楚微型计算机的模型。虽然微处理器早已进入 32 位时代,但是,用 32 位微处理器来讲解微型计算机的组成,从教学的角度来看是不适宜的。先进性和实用性体现在既以 8086 为主,又讲解了 80486、Pentium,使学生能够理解微处理机技术为满足社会需求而走过的发展过程。讲解这些新技术的重点是:为什么需要这样做?它的技术原理是什么?它们对计算机整体结构的影响是什么?它们获得成功的原因是什么?也就是说,不能局限于技术本身的细节,背诵它的条文。

微型计算机的应用已经深入到各个领域,对于从事计算机应用领域的工程技术人员和计算机应用专业的学生而言,掌握计算机原理和接口技术是非常重要的。本书讲述了微型计算机原理、汇编语言和接口技术,把微型计算机的硬件和软件结合在一起,使学生能够通过学习原理、汇编语言和接口,特别是精选实例,掌握软件控制硬件的过程,为工作过程中应用微型计算机打下坚实的基础。全书内容根据教育部高职高专规划教材指导思想与原则的要求,充分考虑了高职高专学生的培养目标和教学特点。在内容的组织上,本着由浅入深、循序渐进的原则,注重基本知识和基本概念的介绍,结合实例重点介绍实用性较强的内容。对应用较少、难度过大的内容则少量介绍或不予介绍,使学生有的放矢,掌握所学内容。本书突出应用性,书中精选了一些实际应用例题,并专门用 1 章来介绍微型计算机系统的开发,力求做到理论教学与实践教学的同步融合,达到学以致用。

本书编者多年从事微型计算机原理与接口技术教学与科研工作,对微型计算机原理与接口技术的教学与应用有着深刻的理解和丰富的经验。在内容的组织上结合了教学与科研等方面的经验,书中的许多例题就来自具体的科研项目。通过学习,学生能水到渠成地掌握微型计算机原理与接口技术。

本书由汪吉鹏任主编,陈光军、王丰、王宇晓参加编写。汪吉鹏编写了第 1、2、10、13 章并对全书进行统稿,陈光军编写了第 6、9、12 章,王丰编写了第 5、7、8 章,王宇晓编写了第 3、4、11 章。北京理工大学的张凯老师对全书进行了仔细认真的审阅,并提出了许多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

由于作者水平有限,书中错误和不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2004 年 2 月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail: dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

目 录

第1章 微型计算机基础知识.....1	
1.1 微型计算机的发展概况1	
1.1.1 计算机的发展1	
1.1.2 微型计算机的发展2	
1.1.3 计算机的分类2	
1.1.4 计算机的应用3	
1.1.5 软件系统的层次结构和 三类编程语言3	
1.2 微型计算机数制及其转换4	
1.2.1 微型计算机常用数制的特点4	
1.2.2 微型计算机数制间的转换4	
1.3 微型计算机中数的表示方法6	
1.3.1 机器数与真值6	
1.3.2 原码、反码、补码6	
1.3.3 补码的运算规则与溢出判断6	
1.3.4 微型计算机的二进制编码7	
习题8	
第2章 8086/8088 微型计算机 系统结构9	
2.1 微型计算机系统组成原理9	
2.1.1 计算机的硬件基本结构9	
2.1.2 微型计算机的基本工作原理10	
2.2 8086 的编程结构11	
2.2.1 8086CPU 概述11	
2.2.2 8086 寄存器结构12	
2.2.3 标志寄存器14	
2.3 存储器的使用15	
2.3.1 存储器的逻辑结构15	
2.3.2 存储器的分段16	
2.3.3 段寄存器的使用17	
2.4 堆栈18	
2.4.1 堆栈的概念18	
2.4.2 堆栈的设置18	
2.4.3 堆栈操作指令18	
习题19	
第3章 指令系统20	
3.1 寻址方式20	
3.1.1 操作数类型20	
3.1.2 寻址方式21	
3.1.3 80x86 与 Pentium 的寻址方式25	
3.2 指令系统27	
3.2.1 数据传送指令27	
3.2.2 算术运算指令30	
3.2.3 逻辑运算指令35	
3.2.4 移位指令37	
3.2.5 转移指令39	
3.2.6 字符串操作指令43	
3.2.7 处理器控制指令45	
3.2.8 输入输出指令46	
3.2.9 中断指令47	
习题48	
第4章 汇编语言程序设计51	
4.1 概述51	
4.1.1 机器语言与汇编语言51	
4.1.2 汇编与连接51	
4.2 汇编语言语句52	
4.2.1 汇编语言语句的种类52	
4.2.2 汇编语言的语句格式52	
4.2.3 指令语句的操作数组成54	
4.2.4 指令语句中的运算符和操作符55	
4.3 伪指令系统58	
4.3.1 数据定义伪指令58	
4.3.2 符号定义伪指令59	
4.3.3 段定义伪指令59	

4.3.4 模块定义与通信伪指令	61	6.3.1 存储器地址分配	104
4.3.5 过程定义伪指令	62	6.3.2 存储器与 CPU 的速度匹配	104
4.4 汇编语言程序的结构	62	6.4 连接实例	105
4.4.1 汇编语言程序的结构	62	6.4.1 存储器芯片与 CPU 的连接	105
4.4.2 程序正常返回 DOS 的方法	63	6.4.2 存储器 RAM 的扩展	107
4.5 基本结构程序设计	63	6.5 80x86 的存储器系统	108
4.5.1 顺序程序设计	64	6.5.1 8086 的存储器系统简介	108
4.5.2 分支程序设计	67	6.5.2 80x86 扩展存储器及其管理	109
4.5.3 循环程序设计	69	6.6 多级存储器体系结构	110
4.5.4 子程序设计	72	6.6.1 “高速缓存-主存”层次	110
4.6 DOS/BIOS 功能调用	78	6.6.2 “主存-辅存”层次	111
4.6.1 DOS 系统功能调用	78	习题	111
4.6.2 BIOS 功能调用	79	第 7 章 中断	112
习题	79	7.1 中断概述	112
第 5 章 8086 微处理器结构	82	7.1.1 中断概念	112
5.1 8086 微处理器结构与引脚功能	82	7.1.2 中断源	112
5.1.1 8086 特点及工作模式	82	7.1.3 中断类型	112
5.1.2 两种工作模式下共用引脚	82	7.1.4 中断类型号	113
5.1.3 最小模式下引脚	84	7.1.5 中断矢量表	114
5.1.4 最大模式下引脚	85	7.2 中断处理过程	115
5.1.5 8088 与 8086 的差别	86	7.2.1 中断请求	115
5.2 8086 的总线操作与时序	86	7.2.2 中断响应	116
5.2.1 指令周期、总线周期与 T 状态	86	7.2.3 中断处理	116
5.2.2 存储器与 I/O 读写周期	87	7.2.4 中断返回	117
5.3 系统组成	89	7.3 可编程中断控制器 8259A	118
5.3.1 锁存与收发	89	7.3.1 8259A 的结构与引脚	118
5.3.2 最小模式下的系统组成	91	7.3.2 8259A 中断响应时序	121
5.3.3 最大模式下的系统组成	92	7.3.3 8259A 的工作方式	122
习题	92	7.3.4 8259A 的命令字	124
第 6 章 半导体存储器	93	7.3.5 8259A 的编程及其在微型 计算机中的应用	129
6.1 概述	93	7.4 微型计算机中断接口技术	130
6.1.1 存储器系统	93	7.4.1 微型计算机中断分配情况	130
6.1.2 半导体存储器的分类	94	7.4.2 DOS 下中断服务程序的编写	131
6.1.3 半导体存储器的性能指标	95	习题	135
6.2 各种存储器	97	第 8 章 微型计算机的 I/O 接口技术	137
6.2.1 只读 ROM	97	8.1 有关接口的基本概念	137
6.2.2 随机存储器 (RAM)	100	8.1.1 接口的概念与功能	137
6.3 存储器扩展	104		

8.1.2 接口信号的分类	137	9.4 微型计算机的串行通信	193
8.1.3 端口的概念与编址方式	138	9.4.1 硬件连接	193
8.2 接口数据的传送方式	138	9.4.2 微型计算机串行通信实例	195
8.2.1 无条件传送方式	139	习题	199
8.2.2 查询方式	139	第 10 章 总线	200
8.2.3 中断方式	140	10.1 总线的分类与作用	200
8.2.4 DMA 方式	140	10.1.1 什么是总线	200
8.3 8253 定时/计数器	142	10.1.2 总线的分类	201
8.3.1 8253 的功能与引脚	142	10.2 总线标准	201
8.3.2 8253 的工作方式	143	10.2.1 PC 总线	201
8.3.3 8253 的控制字与编程	146	10.2.2 ISA 与 EISA 总线	204
8.4 并行接口芯片 8255A	149	10.2.3 PCI 总线	206
8.4.1 8255A 概述	149	10.2.4 局部总线	209
8.4.2 8255A 的控制字	151	10.2.5 USB 总线	210
8.4.3 8255A 的工作方式	152	习题	214
8.4.4 8255A 编程	156	第 11 章 系统扩展接口设计	215
8.5 DMA 控制器 8237A	159	11.1 微型计算机与键盘的接口	215
8.5.1 概述	159	11.1.1 键盘的工作原理	215
8.5.2 8237A 引脚	160	11.1.2 微型计算机系列键盘及其接口电路	218
8.5.3 8237A 内部结构与寄存器	162	11.2 微型计算机与显示器的接口	219
8.5.4 8237A 的软件命令	167	11.2.1 LED 显示器及其接口	220
8.5.5 8237A 的工作时序	167	11.2.2 LCD 显示器及其接口	223
8.5.6 8237A 的初始化及其在微型计算机中的应用	169	11.2.3 CRT 显示器及其接口	224
习题	171	11.3 微型计算机与打印机的接口	229
第 9 章 串行通信接口及应用	172	11.3.1 打印机的接口控制信号	229
9.1 串行通信基础	172	11.3.2 微型计算机与打印机的接口	230
9.1.1 串行通信的分类	172	习题	231
9.1.2 串行通信的制式	173	第 12 章 数/模、模/数转换器的接口设计	232
9.2 串行通信的接口标准	176	12.1 D/A 转换器接口	232
9.2.1 RS-232C 接口	177	12.1.1 D/A 转换器工作原理	232
9.2.2 RS-422A 接口	182	12.1.2 D/A 转换器性能指标	233
9.2.3 RS-485 接口	183	12.1.3 D/A 转换芯片	234
9.2.4 各种串行接口的性能比较	183	12.1.4 D/A 转换器的接口	235
9.3 可编程串行通信接口芯片 8250	185	12.2 A/D 转换器	239
9.3.1 概述	185	12.2.1 A/D 转换器的工作原理	239
9.3.2 8250 的寄存器	186	12.2.2 A/D 转换器的主要性能指标	241
9.3.3 8250 的编程	192		

12.2.3 A/D 转换芯片	242	13.1.3 软件设计	248
12.2.4 A/D 转换器的接口	243	13.1.4 数据采集系统	249
12.3 多路模拟开关及采样保持电路	244	13.2 系统可靠性设计和故障诊断技术	252
12.3.1 多路模拟开关	244	习题	254
12.3.2 采样/保持电路	246	附录 A ASCII 码表	255
习题	246	附录 B DOS 系统功能调用	256
第 13 章 微型计算机应用系统的设计	248	附录 C 常用 BIOS 子程序的功能及	
13.1 微型计算机应用系统设计概述	248	其调用参数	262
13.1.1 系统设计步骤	248	参考文献	266
13.1.2 硬件设计	248		

第1章

微型计算机基础知识

1.1 微型计算机的发展概况

1.1.1 计算机的发展

自从 1946 年世界上第一台电子计算机问世以来,计算机的发展经历了 5 个重要阶段。

1. 大型机阶段

大型机(Mainframe)经历了电子管计算机、第二代晶体管计算机、第三代中小规模集成电路计算机、第四代超大规模集成电路计算机的发展过程,使计算机技术逐步走向成熟。美国 IBM 公司、日本的富士通和 NEC 是大型机的重要生产厂商。

由于大型机价格昂贵,所以一般只有国家行政和军事机构、科研院所、大公司、部分大学才能用得上。

2. 小型机阶段

小型机(Minicomputer)是对大型主机的第一次“缩小化”。它的代表机型是 DEC 公司的 PDP-1 小型机、PDP-8 小型机、VAX-11 系列小型机。它能满足中小企事业单位的信息处理的要求。

3. 微型机阶段

微型机(Microcomputer)是对大型主机的第二次“缩小化”。它的代表机型是苹果计算机公司的 Apple-2, IBM 公司的 IBM-PC 等。成为个人及家庭能用得起的计算机,使计算机得到空前普及。

4. 客户机/服务器阶段

随着微型机的普及和局域网技术的发展,处理能力强的计算机可以为处理能力弱的计算机提供共享的磁盘服务和文件服务,处理能力强的计算机扮演服务器,处理能力弱的计算机充当客户机。其标志性应用是航空公司的联机订票系统,全国铁路的联机订票系统。

5. 互联网阶段

计算机广域网技术的发展也促进了以 TCP/IP 传输控制协议与网际互联协议为标准的因特网的发展。进入新世纪,全球约有 1 亿因特网用户。

直到 1994 年,我国才实现与 TCP/IP 协议的国际互联网的全功能连接。目前,全国可以通过 4 大主干网接入因特网,因特网用户已超过 3000 万。

这 5 个阶段不是串接式的取代关系,而是并行式的共存关系。它较全面的反映了信息技术发展的全貌。

1.1.2 微型计算机的发展

微型计算机（简称微机或 PC 机）是指以主要部件为大规模、超大规模集成电路的微处理器为核心，配以存储器、输入输出接口电路及系统总线所构造出的计算机系统。

1971 年，美国 Intel 公司研究并制造了 4004 微处理器芯片。该芯片字长 4 位，每秒可进行 6 万次运算，它是世界上第一个微处理器芯片。从那时起到现在，微型计算机的发展以字长和典型的微处理器芯片作为阶段性的标志已经经历了五代。

第一代（1971 年—1973 年）是 4 位和低档 8 位微机，代表产品是美国 Intel 公司的 4004 微处理器及由它组成的 MCS 微型计算机。

第二代（1974 年—1978 年）是中高档 8 位微机，以 Intel 8080 和 8085、Motorola 公司的 MC6800、美国 Zilog 公司的 Z80 等构成的微型机为典型代表。

第三代（1978 年—1981 年）是 16 位微机，如以 8086，Z8000 和 MC68000 为 CPU 的微型机。

第四代（1981 年—1992 年）是 32 位微机，典型的 CPU 产品有 80386、80486、MC68020、Pentium 等。

第五代（1993 年以后）是 64 位微机，Intel 公司推出当前最先进的微处理器芯片——64 位 Itanium。

在最近的 32 位机时代，Pentium 奠定了计算机工业的坚实基础。

1.1.3 计算机的分类

十年来，大型机和小型机都走了下坡路，相应的公司被微机厂商兼并。对计算机应进行现实的分类，把它们分为服务器、工作站、台式机、便携机、手持设备五大类符合当今技术应用现状。

1. 服务器（Server）

它有功能强大的处理能力，容量很大的存储器以及快速的输入输出通道和联网能力。通常它的处理器由高端的微处理器芯片组成，如用 4 片或更多的芯片组成的 NT 服务器。

2. 工作站（Workstation）

它与高端微机的差别主要表现在工作站通常要有一个屏幕较大的显示器，以便显示设计图，工程图和控制图等。

3. 台式机（Desktop PC）

它就是通常所说的微型机，由主机箱、CRT 显示器、键盘、鼠标等组成。商家通过不同的配置以适应不同的目标用户。

4. 笔记本（Notebook）

它的功能和台式机基本一样，但体积小、重量轻、价格却比台式机贵两三倍。它像一个笔记本，打开后，一面是 LCD 液晶显示器，另一面则是键盘以及当鼠标用的触模板或轨迹球等。

5. 手持设备（Handheld PC）

它比笔记本更小、更轻。如个人数字助理（PDA）、商务通、快译通以及第三代手机。

1.1.4 计算机的应用

计算机的应用已经深入到国家机关、工农业、财经金融、交通运输、文化教育、国防安全等各行各业，并已走进千家万户。应用分为以下几个方面。

1. 科学计算

由于计算机能快速准确地计算出结果，大大加快了科学研究的进展。

2. 事务处理

主要是文本编辑、数据报表、数据检索、情报管理。它数据量大，实时性强。事务处理成为计算机应用中工作量最大的领域之一。

3. 过程控制

通过计算机对工业生产过程中的各个参数进行连续的、实时的控制，可以节约人力物力、减轻劳动强度、减低能源消耗、提高生产效率。

4. 辅助工程

这包括计算机辅助设计（CAD）、计算机辅助制造（CAM）、计算机辅助工程（CAE）、计算机辅助教学（CAI）和计算机辅助测试（CAT）等。这些领域出现了许多软件，完全改变了传统设计制造的面貌。

5. 人工智能

利用计算机的逻辑推理能力，模拟人类的某些智能行为，在应用中开发出专家系统、模式识别、问题求解、定理证明、机器翻译和自然语言理解等技术。

6. 网络应用

由于计算机网络技术的飞速发展，网络应用正改变着人们的生产和生活方式。如电子邮件、网上浏览、资料检索、IP 电话、电子商务、远程教育、协作医疗、网上出版、定制新闻、娱乐休闲、聊天以及虚拟社区等。

1.1.5 软件系统的层次结构和三类编程语言

计算机系统是由硬件和软件组成。软件由程序和相关文档组成。软件是用户与计算机硬件系统之间的桥梁，它使用户能使用并充分发挥计算机的性能。

1. 软件系统的层次结构

软件又可分为系统软件和应用软件两部分，系统软件是为解决用户使用计算机而编写的程序，如操作系统、编译程序、汇编程序、监控程序、诊断程序等；应用软件是为解决特定问题而编制的程序，如程序包、数据库、窗口软件等。在所有的软件中操作系统是紧挨着硬件的第一层软件，是对硬件功能的首次扩充，其它软件则是建立在操作系统之上的。硬件功能通过操作系统得到扩充，并在操作系统的统一管理和支持下运行各种软件。

2. 三类编程语言

在编程中，人们最早使用机器语言。它使用最贴近机器硬件的二进制代码。接着出现了汇编语言，它使用助记符代替二进制代码。

高级语言是人们使用最多的编程语言，较为流行有各类 C、BASIC 等。

1.2 微型计算机数制及其转换

1.2.1 微型计算机常用数制的特点

人们常用的数是十进制数。在计算机中采用二进制数，为了书写和阅读方便，还采用了八进制和十六进制数。

1. 十进制数

① 用十个符号表示的数。用 0、1、2、…、9 共十个阿拉伯数字，即符号来表示。这些符号称为数码，数码的个数称为基数，十进制数的基数是 10。

② 在一个数中，每个数码表示的值不仅取决于数码本身，还取决于它所处的位置，即是个位、十位，还是百位、……，每一位有各自的权。例如， $158=1\times 10^2+5\times 10^1+8\times 10^0$ 。其中 10^2 、 10^1 、 10^0 即百位、十位和个位的权。

③ 遵从“逢十进一”的规则。

任何一个十进制数均可表示为：

$$N=\pm(a_{n-1}\times 10^{n-1}+a_{n-2}\times 10^{n-2}+\cdots+a_0\times 10^0+a_{-1}\times 10^{-1}+\cdots+a_{-m}\times 10^{-m})$$

式中 n 是整数位数， m 是小数位数， a_i 可以是 0~9 这十个数码中的任何一个。

2. 二进制数

二进制是以 2 为基数的计数体制。在二进制中，每位用数码 0、1 中的任何一个表示，逢二进一。

$$N=\pm(a_{n-1}\times 2^{n-1}+a_{n-2}\times 2^{n-2}+\cdots+a_0\times 2^0+a_{-1}\times 2^{-1}+\cdots+a_{-m}\times 2^{-m})$$

3. 八进制数

八进制是以 8 为基数的计数体制。在八进制中，每位用数码 0~7 中的任何一个表示，逢八进一。

$$N=\pm(a_{n-1}\times 8^{n-1}+a_{n-2}\times 8^{n-2}+\cdots+a_0\times 8^0+a_{-1}\times 2^{-1}+\cdots+a_{-m}\times 8^{-m})$$

4. 十六进制数

十六进制是以 16 为基数的计数体制。在十六进制中，每位用数码 0~9、A、B、C、D、E、F 中的任何一个表示，逢十六进一。

$$N=\pm(a_{n-1}\times 16^{n-1}+a_{n-2}\times 16^{n-2}+\cdots+a_0\times 16^0+a_{-1}\times 16^{-1}+\cdots+a_{-m}\times 16^{-m})$$

5. 任意进制数

对于任意进制，设基数用 R 表示，则任意数 N 为

$$N=\pm(a_{n-1}\times R^{n-1}+a_{n-2}\times R^{n-2}+\cdots+a_0\times R^0+a_{-1}\times R^{-1}+\cdots+a_{-m}\times R^{-m})$$

上述几种任意进制数有以下共同特点：

① 每一种计数制有一个确定的基数 R ，每一位的系数 a_i 有 R 种可能的取值。

② 按“逢 R 进一”的方式，在混合小数中，小数点右移一位相当于乘以 R ，小数点左移一位相当于除以 R 。

1.2.2 微型计算机数制间的转换

1. R 进制转换为十进制

其基本方法是用下列按权展开式，计算出 N 。

$$N = \pm(a_{n-1} \times R^{n-1} + a_{n-2} \times R^{n-2} + \cdots + a_0 \times R^0 + a_{-1} \times R^{-1} + \cdots + a_{-m} \times R^{-m})$$

例如，二进制数 $(111.01)_2 = 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = 7.25$

2. 十进制转换为 R 进制

对于十进制转换为 R 进制，需要将整数和小数分别进行转换。

(1) 对于十进制整数的转换

$$N = \pm(a_{n-1} \times R^{n-1} + a_{n-2} \times R^{n-2} + \cdots + a_0 \times R^0) = \pm(((\cdots (a_{n-1} \times R) + a_{n-2}) \times R + a_{n-3}) \times R + \cdots + a_1) \times R + a_0)$$

因此，可以将十进制整数 N 不断除以 R 取其余数以得到 a_i 。首先得到 a_0 ，然后依次得到 a_1 、 a_2 、 a_3 、 $\cdots$ 、 a_{n-2} 、 a_{n-1} 。这种方法称为“除 R 取余法”。

例 1-1 把十进制数 107 转换为二进制数。

	余数	最低位
2 107	1	
2 53	1	
2 26	0	
2 13	1	
2 6	0	
2 3	1	
2 1	1	最高位
0		

读
数
顺
序

所以， $(107)_{10} = (1101011)_2$ 。

(2) 对于十进制小数的转换

$$N = \pm(a_{-1} \times R^{-1} + a_{-2} \times R^{-2} + \cdots + a_{-m} \times R^{-m}) = \pm[R^{-1}(a_{-1} + R^{-1}(a_{-2} + \cdots + R^{-1}(a_{-m+1} + R^{-1} \times a_{-m}) \cdots))]$$

因此，可以将十进制小数不断乘以 R ，取其乘积的整数作为 a_i ，首先得到 a_{-1} ，然后依次得到 a_{-2} 、 a_{-3} 、 $\cdots$ 、 a_{-i} 、 $\cdots$ 、 a_{-m+1} 、 a_{-m} 。这种方法称为“乘 R 取整法”。

例 1-2 把十进制小数 0.625 转换为二进制数。

$$0.625 \times 2 = 1.250 \quad \text{整数部分} = 1 = a_{-1}$$

$$0.250 \times 2 = 0.50 \quad \text{整数部分} = 0 = a_{-2}$$

$$0.500 \times 2 = 1.00 \quad \text{整数部分} = 1 = a_{-3}$$

所以， $(0.625)_{10} = (0.101)_2$ 。

十进制小数转换成二进制小数时，可能会无限进行下去，因此可以根据需要取近似值。

(3) 二进制与八进制、十六进制的相互转换

由于 $8=2^3$ ， $16=2^4$ ，因此二进制与八进制和十六进制之间的相互转换就很简单。从二进制的小数点位开始，向左每 3 位产生 1 个八进制数字，不足 3 位的左方补 0，这样就得到整数部分的八进制数；向右每 3 位产生 1 个八进制数字，不足 3 位的右方补 0，这样就得到小数部分的八进制数。同理，将二进制转换成十六进制数时，只要按 4 位分割即可。在数字后面加 O(Octal) 表示八进制数，加 H(Hexadecimal) 表示是十六进制数。二进制数用后缀 B(Binary) 表示，十进制数可以用后缀 D(Decimal) 表示或不加 D。

1.3 微型计算机中数的表示方法

1.3.1 机器数与真值

以上提到的二进制数均未涉及符号，因而是一种无符号数。二进制的符号在机器中也要数码化。带有数码化了的正负号的数称为机器数。机器数的最高位是其符号位，0 表示正数，1 表示负数。从形式上来看，机器数的前面不带有正负号。例如，

$$01100010 = +98$$

$$11100010 = -98$$

等号右边的+98 和-98 分别是等号左边的机器数代表的实际数值，称为机器数真值

1.3.2 原码、反码、补码

1. 原码

上述以最高位为 0 表示正数，1 表示负数，后面的各位为其数值，这种数的表示方法称为原码。+98 和-98 的原码的低 7 位是相同的。原码简单，与真值转换方便。但是若两个异号数相加或两个同号数相减时，必须作减法。为了把减法运算转换为加法运算，引进了反码和补码。

2. 反码

正数的反码与其原码相同，最高位为 0 表示正数，其余为数值位。负数的反码是其对应的正数连同符号位按位取反求得。例如，

$$(+9)_{\text{反}} = 00001001 ; \quad (-9)_{\text{反}} = 11110110$$

$$(+0)_{\text{反}} = 00000000 ; \quad (-0)_{\text{反}} = 11111111$$

$$(+127)_{\text{反}} = 01111111 ; \quad (-127)_{\text{反}} = 10000000$$

3. 补码

正数的补码与其反码相同，负数的补码是其反码加 1。即在其反码的最低位上加 1 得到。

例如，

$$\begin{aligned} (+9)_{\text{补}} &= 00001001 ; & (-9)_{\text{补}} &= 11110111 \\ (+0)_{\text{补}} &= 00000000 \\ (+127)_{\text{补}} &= 01111111 ; & (-127)_{\text{补}} &= 10000001 \end{aligned}$$

1.3.3 补码的运算规则与溢出判断

1. 补码的运算规则

引入补码后可以将减法变成加法。例如， $x = 98 - 10 = 98 + (-10) = 88$ 。用补码表示则为 $(x)_{\text{补}} = (98)_{\text{补}} + (-10)_{\text{补}} = 01100010 + 11110110 = 101011000$ 。

在 8 位字长的机器中，第七位 b_7 的进位自然丢失，故 $(x)_{\text{补}} = 01011000$ ，则 $x=88$ 。

2. 溢出判断

需要注意的是，补码是有一定范围的，对于 8 位整数来说，其范围是+127~-128。当运算结果超出该范围时，答案就不正确了，称为溢出。例如， $64+67=131=10000111$ 。而补码为 10000111 的数其真值为-1111001=-121，显然出错了。因为 $131 > 127$ ，称为正向溢出。

又如, $(-64)+(-67)=-131$ $(-64)_{\#}+(-67)_{\#}=11000000+10111001=101111001$, 最高位的进位自然丢失, 机器的运算结果为 $01111001=121$, 两个负数的和为正数, 显然不对。因为 $-131 < -128$, 产生负向溢出。防止溢出的办法是用更多的位, 如 16 位、32 位来表示。

1.3.4 微型计算机的二进制编码

在数字系统中, 二进制数码不仅可表示数值的大小, 而且还常用于表示特定的信息。将若干个二进制 0 和 1 按一定的规则排列起来表示某种特定含义的代码, 称为二进制代码, 或称为二进制码。

1. 二-十进制代码

将十进制数的 0~9 十个数字用二进制数表示的代码, 称为二-十进制码, 又称为 BCD 码。

由于十进制数有 10 个不同的数码, 因此, 需要 4 位二进制来表示。而 4 位二进制代码有 16 种不同的组合, 从中取出 10 种组合来表示 0~9 十个数可有多种方案, 所以二-十进制代码也有多种方案, 如表 1-1 所示。

表 1-1 几种常用的二-十进制代码

十 进 制 数	有 权 码		无 权 码
	8421 码	2421 码	余 3 码
0	0000	0000	0011
1	0001	0001	0100
2	0010	0010	0101
3	0011	0011	0110
4	0100	0100	0111
5	0101	0101	1000
6	0110	0110	1001
7	0111	0111	1010
8	1000	1110	1011
9	1001	1111	1100

(1) 8421BCD 码

这种代码每一种的权值是固定不变的, 为恒权码。它取了 4 位二进制数的前 10 种组合, 即 0000(0)~1001(9), 从高位到低位的权值分别是 8、4、2、1, 称为 8421BCD 码。每组二进制代码各系数之和便为它所代表的十进制数。

(2) 2421BCD 码

它们也是恒权码, 从高位到低位的权值分别是 2、4、2、1, 称为 2421BCD 码。每组二进制代码各系数之和便为它所代表的十进制数。

(3) 余 3BCD 码

这种代码没有固定的权, 为无权码。它比 8421BCD 码多余 3(0011), 所以称为余 3 码。由