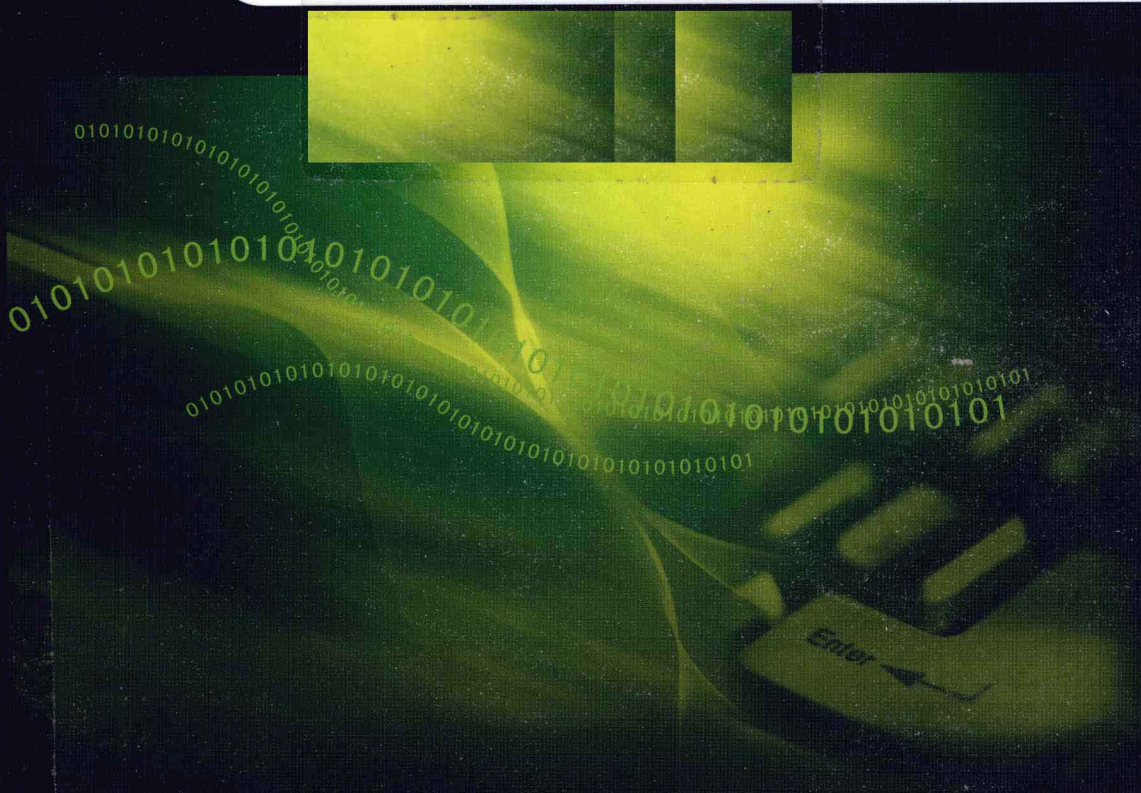


21
世纪

普通高等教育
应用型规划教材

微型计算机原理及应用

杨永 王晓军 李玉忠 主编 徐伟 主审



化学工业出版社

21 世纪普通高等教育应用型规划教材

微型计算机原理及应用

杨永 王晓军 李玉忠 主编

徐 伟 主审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是作者结合多年的教学实践经验编写而成,以 16 位机为主讲机型,对内容作了精选,使本书更具系统性、实用性和先进性。

本书主要内容有:微型计算机系统基本原理、Intel8086/8088 微处理器结构与工作方式、Intel8086/8088 指令系统、汇编语言及程序设计,存储器系统、常用输入/输出接口等。

本书叙述由浅入深,体系结构合理,可以作为高等院校非计算机类专业的“微型计算机原理及应用”、“微型计算机原理与接口技术”、“微型计算机原理与汇编语言程序设计”等相关课程的教学用书,也可供相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

微型计算机原理及应用/杨永,王晓军,李玉忠主编.
北京:化学工业出版社,2010.6
21 世纪普通高等教育应用型规划教材
ISBN 978-7-122-07336-5

I. 微… II. ①杨… ②王… ③李… III. 微型计算机-高等学校-教材 IV. TP36

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 063991 号

责任编辑:唐旭华 郝英华

文字编辑:吴开亮

责任校对:宋 夏

装帧设计:尹琳琳

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 16 字数 418 千字 2010 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:29.00 元

版权所有 违者必究

前 言

微型计算机因体积小、重量轻、功耗低，并且结构灵活、价格便宜、可靠性高等特点，在科学计算、信息处理、仪表仪器制造和家用电器等方面得到了广泛的应用。在工业上，由于微型计算机控制系统的使用，使得自动化生产线的生产能力和生产质量等都得到了巨大的提高。尤其是在仪器仪表行业中，微型计算机已经成为不可或缺的部分。

“微型计算机原理及应用”是开发和设计各种微型计算机应用系统和机电一体化系统等的基础，是微型计算机应用的关键。本书是面向高等院校非计算机类专业的“微型计算机原理及应用”、“微型计算机原理与接口技术”、“微型计算机原理与汇编语言程序设计”等课程的通用教材。本书主要以 Intel 8086/8088 CPU 为例，分析了微处理器的基本结构、汇编指令、存储系统和输入输出接口技术等。以 Intel 8086/8088 为 CPU 的 16 位微型计算机系统是最基本最常用的微处理器，因此通过本书的学习可掌握其设计思想、芯片连接和信号关系等，对其他更高性能的微型计算机的学习和应用都有着非常好的借鉴作用。

在编写过程中，编者始终遵循深入浅出的原则，对概念作详细阐述的同时，辅以较多的例子，以巩固各个知识点。书中例题丰富、形式多样、循序渐进、重点突出。对于非计算机类专业的读者来说，学习“微型计算机原理及应用”这门课程会感觉抽象、难以理解，因此本书在文字叙述上力求通俗易懂。相信通过本书的学习和相应的上机实验，可以使读者对微型计算机系统的组成和工作原理有一定的了解，具备一定的汇编语言程序设计能力，并能够开发具有简单外部设备的小型应用系统。

另外，为方便教学，本书配套的电子教案可免费提供给采用本书作为教材的相关院校使用。如有需要，请发电子邮件至 txh@cip.com.cn 索取。

本书第 1 章由黄春英、周莉编写，第 2 章由杨庆煊编写，第 3 章由杨永、王永超编写，第 4 章由向丹、林峰编写，第 5 章由王晓军、姚屏编写，第 6 章由李玉忠、谢小荣编写，第 7 章由黄四庆、姚宏编写，附录由杨庆煊编写。全书由杨永、王晓军、李玉忠主编，杨永负责统稿，徐伟教授主审。

由于计算机技术的发展日新月异，新技术层出不穷，编者水平所限，书中不当之处在所难免，敬请各位读者和专家批评指正。

编者
2010 年 5 月

目 录

第 1 章 绪论	1	2.4 指令系统	30
1.1 概述	1	2.4.1 数据传送指令	30
1.1.1 微型计算机的发展概况	1	2.4.2 算术运算指令	36
1.1.2 微型计算机的特点和应用	2	2.4.3 逻辑运算和移位指令	50
1.1.3 微型计算机的主要性能指标	3	2.4.4 串操作指令	55
1.2 计算机中的数制及其转换	4	2.4.5 程序控制指令	61
1.2.1 进位计数制	4	2.4.6 处理器控制指令	70
1.2.2 数制间的转换	4	第 3 章 汇编语言程序设计	74
1.3 计算机中数的表示方法	5	3.1 汇编语言源程序	74
1.3.1 有符号数的表示方法	5	3.1.1 汇编语言源程序的结构	74
1.3.2 无符号数的表示方法	8	3.1.2 汇编语言语句类型及格式	76
1.3.3 定点数和浮点数	8	3.1.3 操作数域 (operand fields)	76
1.4 二进制编码	9	3.2 伪指令	80
1.4.1 BCD 码	9	3.2.1 数据定义伪指令	80
1.4.2 英文字符表示方法——ASCII 码	9	3.2.2 符号定义伪指令	82
1.5 微型计算机的基本结构	10	3.2.3 段定义伪指令	82
1.5.1 微型计算机的组成	10	3.2.4 设定段寄存器伪指令	83
1.5.2 微型计算机的工作过程	11	3.2.5 过程定义伪指令	84
第 2 章 Intel 8086/8088 微处理器	13	3.2.6 宏命令伪指令	85
2.1 Intel 8086/8088 微处理器基本结构	13	3.2.7 模块定义与连接伪指令	85
2.1.1 微型计算机功能结构	13	3.2.8 汇编程序与 C 语言程序的连接	90
2.1.2 微型计算机寄存器结构	14	3.3 DOS 功能调用	94
2.1.3 微型计算机存储器结构	17	3.4 汇编语言程序设计基本技术	100
2.2 8088 微处理器引脚及其功能	19	3.4.1 顺序程序设计	100
2.2.1 8086/8088 微处理器引脚及其功能	19	3.4.2 分支程序设计	102
2.2.2 8086/8088 微处理器最小系统	22	3.4.3 循环程序设计	104
2.2.3 8086/8088 微处理器工作时序	23	3.4.4 子程序设计	107
2.3 8086/8088 寻址方式	24	第 4 章 存储器系统	118
2.3.1 立即寻址	25	4.1 概述	118
2.3.2 直接寻址	25	4.1.1 存储器的基本概念	118
2.3.3 寄存器寻址	26	4.1.2 存储器的分类	118
2.3.4 寄存器间接寻址	27	4.1.3 存储器的主要技术指标	120
2.3.5 寄存器相对寻址	27	4.1.4 存储器的读写系统	121
2.3.6 基址-变址寻址	28	4.2 随机存储器	123
2.3.7 相对基址-变址寻址	28	4.2.1 静态随机存储器 (SRAM)	123
2.3.8 隐含寻址	29	4.2.2 动态随机存储器 (DRAM)	126
		4.3 只读存储器	129

4.3.1 掩膜 ROM	129	5.4.2 中断系统	167
4.3.2 可编程 ROM (PROM)	131	5.4.3 可编程中断控制器 8259A	171
4.3.3 可擦除、可编程 ROM (EPROM)	131	第 6 章 常用数字接口电路	188
4.3.4 电可擦除可编程 ROM (EEPROM)	133	6.1 可编程并行输入输出接口 8255A	188
4.3.5 Flash 存储器	133	6.1.1 并行通信和并行接口	188
4.4 存储器芯片的扩展	134	6.1.2 8255A 的内部结构	188
4.4.1 存储器与 CPU 连接时应 注意的问题	134	6.1.3 8255A 的外部引脚	190
4.4.2 存储器芯片的扩展	135	6.1.4 8255A 的控制字	190
4.5 高速缓冲存储器 Cache	142	6.1.5 8255A 的工作方式	191
4.6 虚拟存储器	147	6.1.6 应用实例	195
第 5 章 输入输出与中断技术	150	6.2 可编程定时器/计数器 8253	199
5.1 输入输出接口	150	6.2.1 8253 内部结构	199
5.1.1 概述	150	6.2.2 编程命令和工作方式	201
5.1.2 I/O 接口的编址方式	151	6.2.3 8253 应用举例	203
5.1.3 I/O 接口的数据的传送方式	153	6.3 可编程串行输入输出接口芯片 8251A	204
5.2 简单 I/O 接口电路	153	6.3.1 串行通信基础	204
5.2.1 接口电路的基本构成	153	6.3.2 可编程串口接口芯片 8251A	208
5.2.2 三态门接口	154	第 7 章 模拟量的输入输出	219
5.2.3 锁存器接口	155	7.1 概述	219
5.3 简单 I/O 接口电路	158	7.2 数/模 (D/A) 转换器	219
5.3.1 无条件传送	158	7.2.1 D/A 转换器的工作原理	219
5.3.2 查询传送	159	7.2.2 数/模转换器芯片 (DAC) 及其接口技术	221
5.3.3 中断方式	160	7.3 模/数 (A/D) 转换器	227
5.3.4 直接存储器存储 (DMA) 方式	160	7.3.1 A/D 转换器的工作原理	227
5.3.5 I/O 处理方式	162	7.3.2 A/D 转换器芯片 ADC0809	229
5.4 中断技术	162	附录 A ASCII 码表	238
5.4.1 中断的基本概念	162	附录 B 8086/8088 指令简表	239
		附录 C 8086、8088 微机的中断	242
		附录 D BIOS 软中断简要列表	248
		参考文献	249

第 1 章 绪 论

1.1 概述

1.1.1 微型计算机的发展概况

自 1946 年第一台计算机在美国问世,在这以后几十年的迅猛发展中,计算机经历了电子管时代,晶体管时代,集成电路时代,大规模、超大规模集成电路时代,超大规模、超高速集成电路时代。电子计算机的诞生、发展和应用普及,是 20 世纪科学技术的卓越成就,计算机技术对其他科学技术发展的推动作用,以及对整个人类生活的影响是前所未有的。在当今的信息化、网络化时代,计算机已成为人们工作生活中不可缺少的基本工具,而在计算机中人们接触最多的是微型计算机。

微型计算机诞生于 20 世纪 70 年代,是第四代计算机向微型化发展的一个重要分支,它的发展是以微处理器的发展为主要标志的。

微处理器简称 MPU (micro processing unit),它是微型计算机的核心芯片。它将微型计算机的运算器和控制器集成在一片硅片上,也称中央处理器 CPU (central processing unit)。微处理器具体由算术逻辑部件 ALU (arithmetic logical unit)、控制部件、寄存器组和片内总线等几部分组成。微处理器的产生和发展与大规模集成电路的发展是密不可分的。20 世纪 60 年代后期,在一片几平方毫米的硅片上,可以集成几千个晶体管,出现了大规模集成电路 LSI (large scale integrate circuit)。LSI 器件体积小、功耗低、可靠性高,为微处理器及微型计算机生产提供了可能。1971 年世界上第一台微处理器(4004)和微型计算机在美国旧金山南部的硅谷应运而生,从而开创了微型计算机发展的新时代。

到目前为止,微处理器的发展过程可大致分为以下六代(按 CPU 字长位数和功能来划分)。

第一代微处理器(1971~1972 年) 4 位和 8 位的微处理器,典型产品为 1971 年的 Intel 4004 和 1972 年的 Intel 8008 微处理器。它们采用 PMOS 工艺,集成度达每片上 2000 个晶体管,时钟频率小于 1MHz ($1\text{MHz}=10^6\text{Hz}$)。这一代 CPU 运算能力较弱,速度也比较慢,指令系统较为简单,采用机器语言编程,只能进行串行的十进制运算。

第二代微处理器(1973~1976 年) 8 位微处理器,典型产品为 1973 年的 Intel 8080、1974 年的 Motorola MC6800 系列、1975 年的 Zilog Z80 和 1976 年的 Intel 8085。它们采用 NMOS 工艺,与第一代相比集成度提高了 1~4 倍,可达每片 9000 个晶体管以上,时钟频率达 1~4MHz,执行指令的速度达 0.5MIPS 以上,运算速度比第一代微处理器提高了 10~15 倍,用它构成的微型计算机已具备典型的计算机体系结构,有中断和直接存储器存取方式(DMA)等功能,软件上除配备了汇编语言外,还有 BASIC、FORTRAN 等语言和简单操作系统(如 CP/M——Control Program/Monitor)。

第三代微处理器(1978~1983 年) 16 位微处理器,典型产品为 1978 年的 Intel 8086、1979 年的 Zilog Z8000、1979 年的 Motorola 68000、1983 年的 Intel 80286 和 Motorola 68010。第三代微处理器集成度为每片 29000 只晶体管以上,数据总线宽度为 16 位,地址总线为

20 位，可寻址内存空间达 1MB ($1\text{MB}=2^{20}\text{B}$)。它还支持指令高速缓存或队列，可以在执行指令前预取几条指令，运算速度比 8 位机快 2~5 倍。1984 年 Intel 公司研制了 80286 等性能更为优越的 16 位微型机，时钟频率为 25MHz，有 24 位地址线，可寻址 $2^{24}\text{B}=16\text{MB}$ ，有存储器管理和保护方式，并支持虚拟存储器体系。

第四代微处理器（1985~1989 年） 32 位微处理器，典型产品为 1985 年的 Intel 80386、1989 年的 Intel 80486 和 Motorola 68040。Intel 80386 CPU 采用 CHMOS 工艺，集成度达每片 15~50 万只晶体管，时钟频率为 16~33MHz，它是一种与 8086 向上兼容的 32 位处理器，具有 32 位的数据线，32 位的地址线，寻址能力达 4GB ($1\text{GB}=2^{30}\text{B}$)，提供了容量更大的虚拟存储，其执行速度达 3~4MIPS。80486 CPU 比 80386 CPU 性能更高，集成度达每片 120 万只晶体管，采用 64 位的内部数据总线，增加了片内协处理器和一个 8 KB 容量的高速缓冲存储器 (Cache)。它还采用了 RISC (reduction instruction set computer 精简指令集计算机) 技术，使它的处理速度大大提高，在相同时钟频率下处理速度比 80386 快了 2~3 倍。

表 1-1 Intel 80X86/Pentium 系列 CPU 主要性能参数

微处理器	推出时间	生产工艺/ μm	首批时钟/Hz	集成度/百万个	寄存器位数	数据总线宽度/位	最大存储空间	高速缓存大小
8086	1978	10	8	0.040	16	16	1MB	无
80286	1982	2.7	12.5	0.125	16	16	16MB	无
80386DX	1985	2	20	0.275	32	32	4GB	无
80486DX	1989	1.0, 0.8	25	1.200	32	32	4GB	8KB L1
Pentium	1993	0.8, 0.6	60	3.100	32	64	4GB	16KB L1
Pentium Pro	1995	0.6	200	5.500	32	64	64GB	16KB L1/256KB L2
Pentium 0	1997	0.35	300	7.500	32	64	64GB	32KB L1/256KB L2
Pentium III	1999	0.18	500	9.500	32	64	64GB	32KB L1/512KB L2
Pentium IV	2000	0.13	1300	42.00	32	64	64GB	128KB L1/512KB L2

第五代微处理器（1993 年） 32 位高档微处理器，典型产品为 1993 年 Pentium（奔腾）。Pentium 采用 0.6mm 的静态 CMOS 工艺，集成度每片 350 万元件，基本指令执行时间 0.5ms，主频 60MHz 以上，采用扩展总线，设置高速程序缓存、数据缓存、超流水线结构。两年后推出的 Pentium PRO 系列微处理器 P6，主频 133MHz，设置两级缓存，采用动态执行技术，性能大大提高。而后又推出了具有 MMX 技术——附加多媒体声像处理指令的 Pentium II，可用于多媒体应用领域。

截至目前，Intel 系列的微处理器中，最高主频已达 3.4GHz。表 1-1 给出了 Intel 中 80X86/Pentium 系列部分 CPU 的主要性能参数。

1.1.2 微型计算机的特点和应用

(1) 微型计算机的特点

微型计算机运算速度快、计算精度高、高集成度，使得微处理器非常稳定，其造价低廉；微型计算机硬件平台开放，易于扩展，适应性强；微处理器配套支撑芯片和软件丰富，更新很快；微型计算机还具有体积小、重量轻、耗电省及维护方便等特点。

(2) 微型计算机的应用

微型计算机的问世和飞速发展，使计算机的应用范围越来越广泛，如卫星、导弹的发射，石油勘探，天气预报，邮电通信，计算机辅助设计，智能仪器，家用电器乃至电子表、儿童

玩具等。它已渗透到国民经济的各个部门,成为人们工作和生活不可缺少的工具,从而将人类社会推进到了信息时代。

① 科学计算 应用包括卫星发射控制、航天飞机制造、高层建筑设计、机械产品设计等,以及应用于生物信息学研究、基因测序、医学病理分析与处理等。

② 信息处理 信息处理就是利用微型计算机对各种形式的资料数据进行收集、加工、存储、分类、计算、传输等。微型计算机配上适当的软件,可实现办公自动化、企事业计算机辅助管理与决策、图书管理、财务管理、情报检索、银行电子化等。近年来,许多单位开发了自己的信息管理系统(MIS)。

③ 计算机辅助设计与制造 计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)借助微型计算机调整、修改产品设计,CAM 围绕中心数控机床及其自动化设备,用以完成部件的加工、运输、组装、测量、检查等功能。CAD 与 CAM 的集成——CAD/CAM 一体化,是今后工业自动化发展的重要方向。

④ 过程控制 过程控制是微型计算机在工业应用中的重要领域,应用包括大型工业锅炉控制、铁路调度控制、数控机床控制,以及由上、下位微型计算机构成的分布式工业生产自动控制系统等。嵌入式系统的发展和应用使工业控制的应用领域更加广泛,市场应用前景更加广阔。

⑤ 人工智能 智能化是微型计算机应用的一个重要方面。所谓人工智能就是利用计算机模拟人类的智能活动,诸如感知、判断、学习、联想、推理、图像识别和问题求解等。人工智能主要应用在机器人、模式识别、机器翻译、专家系统等方面。例如,能模拟高水平医学专家进行疾病诊疗的专家系统,具有一定思维能力的机器人等。

⑥ 网络通信 计算机技术与通信技术的结合构成了计算机网络。网络通信是指利用计算机网络实现信息的传递、交换和传播。随着信息高速公路的实施,Internet 国际互联网迅速覆盖全球,微型计算机作为服务器、工作站成为网络中的重要成员。如今的个人计算机可通过普通电话线、宽带网等方式方便地联入 Internet 互联网,从而获得网上的各种资源。

1.1.3 微型计算机的主要性能指标

一台微型计算机功能的强弱或性能的好坏,不是单由某项指标来决定的,而是由它的系统结构、指令系统、硬件组成、软件配置等多方面的因素综合决定的。但对于大多数普通用户来说,可以从以下几个指标来大体评价计算机的性能。

(1) 运算速度

运算速度是衡量计算机性能的一项重要指标。通常所说的计算机运算速度(平均运算速度),是指每秒钟所能执行的指令条数,一般用“百万条指令/秒”(MIPS)来描述。同一台计算机,执行不同的运算所需时间可能不同,因而对运算速度的描述常采用不同的方法。常用的有 CPU 时钟频率(主频)、每秒平均执行指令数(IPS)等。微型计算机一般采用主频来描述运算速度,例如,Pentium/133 的主频为 133 MHz,Pentium/800 的主频为 800 MHz,Pentium IV 1.5G 的主频为 1.5 GHz。一般说来,主频越高,运算速度就越快。

(2) 字长

在其他指标相同时,字长越大,计算机处理数据的速度就越快。早期的微型计算机的字长一般是 8 位和 16 位,后来的微型计算机(如 Pentium II, Pentium III, Pentium IV)都是 32 位,目前常用的微型计算机已达到 64 位。

(3) 存储器的容量

存储器分为内存储器和外存储器两类。内存储器也简称内存或主存,是 CPU 可以直接访问的存储器,需要执行的程序与需要处理的数据就是存放在主存中的。内存储器容量的大小反映了计算机即时存储信息的能力。随着操作系统的升级、应用软件不断丰富及其功能的不断扩展,人们对计算机内存容量的需求也不断提高。目前,运行 Windows 95 或 Windows 98 操作系统至少需要 16 MB 的内存容量,Windows XP 则需要 128 MB 以上的内存容量。内存容量越大,系统功能就越强大,能处理的数据量就越庞大。

外存储器通常是指硬盘(包括内置硬盘和移动硬盘)。外存储器容量越大,可存储的信息就越多,可安装的应用软件就越丰富。目前,硬盘容量一般为 40~80GB,有的甚至已达到 120GB 或更高。

以上只是一些主要性能指标。微型计算机还有其他一些指标,另外,各项指标之间也不是彼此孤立的,在实际应用时,应该把它们综合起来考虑。

1.2 计算机中的数制及其转换

1.2.1 进位计数制

现实生活中人们使用各种进制数进行计数,例如时、分、秒采用六十进制计数。对于基数为 r 的 r 进制数的值可以表示为

$$a_n r^n + a_{n-1} r^{n-1} + \cdots + a_0 r^0 + a_{-1} r^{-1} + a_{-2} r^{-2} + \cdots + a_{-n} r^{-n}$$

式中, a_i 可以是 0, 1, 2, ..., $r-1$ 中的任意一个数码, r^k 则为各位数相应的权。

如二进制数

$$(1101011)_2 = 1 \times 2^6 + 1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = (107)_{10}$$

在计算机中采用后缀表示法表示各进制数,二进制数的后缀为 B (Binary)、八进制数的后缀为 Q (Octal, O 和数字零易混淆,所以一般用 Q 表示)、十进制数的后缀为 D (Decimal 或省略)、十六进制数的后缀为 H (Hex-decimal),如 100101B、5B0CH 等。在书写十六进制数时,当数字以字母开头时,其前面要加数字 0,以避免和字符串混淆,如 0AC18H。

1.2.2 数制间的转换

(1) 其他进制数转换为十进制数

这种转换基本方法是用按权展开,例如

$$(110.01)_2 = 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = (6.25)_{10}$$

$$(176)_8 = 1 \times 8^2 + 7 \times 8^1 + 6 \times 8^0 = (126)_{10}$$

$$(A5C)_{16} = 10 \times 16^2 + 5 \times 16^1 + 12 \times 16^0 = (2652)_{10}$$

(2) 十进制转换成二、八、十六进制数

十进制数转换成二、八、十六进制数时,需要把整数部分与小数部分分别转换,然后拼接起来。

① 整数部分 转换规则为:用短除法,除以要转换进制数的基数,取每一步得到的余数,直到商为 0。将每一步得到的余数倒序排列,即为要转换的进制数。

【例 1-1】 将 35 转换为对应的二进制数和十六进制数。

$$\begin{array}{r}
 2 \overline{) 35} \quad 1 \uparrow \\
 2 \overline{) 17} \quad 1 \\
 2 \overline{) 8} \quad 0 \\
 2 \overline{) 4} \quad 0 \\
 2 \overline{) 2} \quad 0 \\
 2 \overline{) 1} \quad 1 \\
 \hline
 0
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{r}
 16 \overline{) 35} \quad 3 \uparrow \\
 16 \overline{) 2} \quad 2 \\
 \hline
 0
 \end{array}$$

所以 $35D=100011B=23H$

② 小数部分 转换规则为：用乘法，即将被转换的十进制数乘要转换进制数的基数，取每一步得到的进位，直到乘积为 0 或达到规定的位数，将每一步得到的进位正序排列，即为要转换的进制数。

【例 1-2】 将 0.8125 转换为对应的二进制数。

$$\begin{array}{r}
 0.8125 \\
 \times 2 \\
 \hline
 1 \quad 0.6250 \\
 \times 2 \\
 \hline
 1 \quad 0.2500 \\
 \times 2 \\
 \hline
 0 \quad 0.5000 \\
 \times 2 \\
 \hline
 1 \quad 0.0000
 \end{array}$$

所以 $0.8125=0.1101B$

(3) 其他进制数之间的转换

十六进制数与二进制数是 1 位对应 4 位的关系，即十六进制数 0, 1, 2, ..., E, F 对应的二进制数为 0000, 0001, 0010, ..., 1110, 1111。所以十六进制数与二进制数之间的转换规则为：以小数点为起点，向小数点的两端，每 1 位十六进制数对应 4 位二进制数，不足位补 0。八进制数与二进制数是 1 位对应 3 位的关系，即八进制数 0, 1, 2, ..., 7 对应的二进制数为 000, 001, 010, ..., 111。所以八进制数与二进制数之间的转换规则为：以小数点为起点，向小数点的两端，每 1 位八进制数对应 3 位二进制数，不足位补 0。

【例 1-3】 将二进制数 100101101.1011001B 转换为十六进制数和八进制数。

$$\begin{array}{cccccc}
 \underline{0001} & \underline{0010} & \underline{1101} & \underline{1001} & \underline{1010} & B \\
 \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \\
 = & 1 & 2 & D & 9 & A \quad H
 \end{array}$$

$$\begin{array}{cccccc}
 \underline{100} & \underline{101} & \underline{101} & \underline{100} & \underline{110} & \underline{100} & B \\
 \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \\
 = & 4 & 5 & 5 & 4 & 6 & 4 \quad Q
 \end{array}$$

很明显，八进制或十六进制要转换成二进制，只需将八进制或十六进制数分别用对应的三位或四位二进制数表示即可。

1.3 计算机中数的表示方法

1.3.1 有符号数的表示方法

(1) 机器数与真值

机器数是一个数在计算机中的表示形式，一个机器数所表示的数值称为真值。对于带符

号的数, 在计算机中, 通常将一个数的最高位作为符号位, 最高位为 0, 表示符号位为正; 最高位为 1, 表示符号位为负。对无符号数, 机器数与真值相同。

【例 1-4】 $X=+65$ 在机器中表示为

$$X=01000001B$$

这种符号数数码化的数称为机器数。机器数所代表的实际数值称为真值。

机器数可以用不同的码制来表示, 常用的有原码和补码表示方法。

(2) 原码表示法

原码表示法: 最高位为符号位, 0 表示正数, 1 表示负数, 后面各位为其数值。

【例 1-5】 若 $X=+97$ 则 $[X]_{\text{原}}=01100001B$

若 $X=-97$ 则 $[X]_{\text{原}}=11100001B$

8 位二进制原码能表示的数值范围为 $-127 \sim +127$, 16 位原码能表示整数的范围为 $-32767 \sim +32767$ 。原码虽然简单, 但是计算机中却不是用原码做减法运算, 为了减少计算机的硬件, 计算机中的减法是通过加法器来实现的, 为此, 引入了补码表示法。

(3) 补码表示法

正数的补码与其原码具有相同的表现形式。

【例 1-6】 $X=+127$, $[X]_{\text{原}}=[X]_{\text{补}}=0\ 1111111B$

$$X=+0, [X]_{\text{原}}=[X]_{\text{补}}=0\ 0000000B$$

负数的补码可由其原码除符号位保持不变外, 其余各位按位取反 (反码), 再在最低位加上 1。

【例 1-7】 $[-8]_{\text{补}}=11111000B$

$$[-0]_{\text{补}}=00000000B$$

$$[-128]_{\text{补}}=10000000B$$

二进制补码的几个特点如下。

① $[+0]_{\text{补}}=[-0]_{\text{补}}=00000000B$

② 8 位二进制补码所能表示的数值范围为 $-128 \sim +127$ 。

③ 补码表示的负数, 若再求一次补码可得到原码, 即

$$[[X]_{\text{补}}]_{\text{补}}=[X]_{\text{原}}$$

【例 1-8】 若 $[X]_{\text{原}}=11010101B$

$$[X]_{\text{补}}=10101011B$$

则 $[[X]_{\text{补}}]_{\text{补}}=11010101B$

(4) 补码运算中的溢出

在计算机中, 凡是有符号数一律用补码形式存放和运算, 其运算结果也用补码表示。

补码的加法运算规则是: $[X+Y]_{\text{补}}=[X]_{\text{补}}+[Y]_{\text{补}}$

减法的运算规则是: $[X-Y]_{\text{补}}=[X]_{\text{补}}+[-Y]_{\text{补}}$

由于计算机的字长有一定限制, 所以一个带符号数是有一定范围的。当它们用补码表示带符号数时, 字长为 8 位的二进制数可以表示 $2^8=256$ 个数, 它们表示的数的范围是 $-128 \sim +127$ 。字长为 16 位的二进制数, 它们表示的数的范围是 $-32768 \sim +32767$ 。

【例 1-9】

	00001111	+15
+	01110000	+112
	01111111	+127

此例中 $C_{7←6} \oplus C_{←7} = 0$ ，结果在 8 位二进制补码表示范围内，没有溢出。

【例 1-10】

	10001010	-118
+	01111001	+121
1	00000011	+3

此例中， $C_{7←6} \oplus C_{←7} = 0$ ，结果正确，没有溢出。

【例 1-11】

	01111110	+126
+	00000101	+5
	10000011	-125

此例中， $C_{7←6} \oplus C_{←7} = 1$ ，结果不正确，有溢出。

【例 1-12】

	10000010	-124
+	11111000	-8
1	00000011	+124

此例中， $C_{7←6} \oplus C_{←7} = 1$ ，结果不正确，有溢出。

思考：对于 16 位二进制补码运算溢出又有什么规律呢？

1.3.2 无符号数的表示方法

无符号数是指机器字长的所有位都参与表示数值。在计算机中通常用无符号数表示地址，另外双精度数的低位字也是无符号数。

若计算机中字长为 n 位，则 n 为无符号数可表示的数 X 的范围是

$$0 \leq X \leq 2^n - 1$$

当 $n=8$ 时，可表示的无符号数的范围是 $0 \sim 255$ ；当 $n=16$ 时，可表示的无符号数的范围是 $0 \sim 65535$ 。

1.3.3 定点数和浮点数

(1) 定点数

在定点格式中，小数点在数据中的位置固定不变。定点格式可表示成定点小数或定点整数。通常，小数点的位置确定后，在运算中不再考虑小数点的问题，因而，小数点不占用存储空间。定点数表示简单，但数的取值范围小，精度低。

(2) 浮点数

采用浮点格式的机器中的数据的小数点位置可变。浮点数的一般格式为

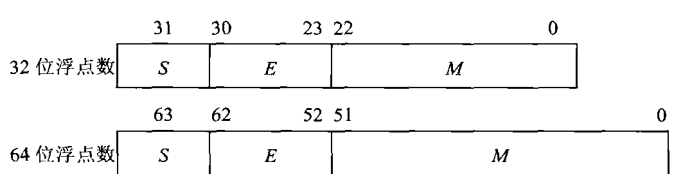
$$N=R^E M$$

其中， N 为浮点数或实数； M 为浮点数的尾数，是纯小数； E 为浮点的指数，是整数， R 为基数，常数。

机器中的浮点数用尾数和阶码及其符号位表示。尾数用定点小数表示，尾数给定有效数字的位数，并决定浮点数的表示精度；阶码用定点整数表示，指明小数点在数据中的位置，并决定浮点数的表示范围。机器浮点数应当由阶码和尾数及其符号位组成。



为便于软件移植，按照 IEEE754 标准，32 位浮点数和 64 位浮点数的标准格式为



上述格式中基数 $R=2$ 。32 位的浮点数中，浮点数的符号位 S 占 1 位， $S=0$ 表示正数， $S=1$ 表示负数；尾数 M 占用 23 位，小数点放在尾数域的最前面。阶码 E 占用 8 位，阶符采用移码表示正负指数。采用移码方法有利于指数大小比较和对阶操作。采用这种方式，需将指数 e 加上偏移值 127，即 $e=E+127$ 。

一个规格化的 32 位浮点数 x 的真值可表示为

$$x = (-1)^S \times (1.M) \times 2^{E-127}, e = E - 127$$

其中尾数域所表示的实值是 $1.M$ ，由于规格化的浮点数的尾数域最高有效位总是 1，可以节省一位存储。

$$x = (-1)^S \times (1.M) \times 2^{E-1023}, e = E - 1023$$

浮点数的规格化表示，定义其机器码表示的唯一性。当尾数值不为 0 时，其绝对值应大于等于 0.5，即尾数域的最高有效位应为 1，否则要修改阶码同时移动小数点，使其变换成符合要求的形式。

当浮点数的尾数为 0，不论其阶码为何值，或者当阶码的值遇到比它能表示的最小值还小时，不管其尾数为何值，计算机都把该数看为机器零。

1.4 二进制编码

所谓编码，就是用少量的基本符号，按照一定的排列组合原则，表示大量复杂多样信息的一种操作。基本符号的种类和排列组合规则是信息编码的两大要素。

1.4.1 BCD 码

BCD（二—十进制）码是一种常用的数字代码，它广泛应用于计算机中。这种编码法分别将每位十进制数字编成 4 位二进制代码（表 1-2），从而用二进制数来表示十进制数。

表 1-2 BCD 码与十进制数字的编码关系

十进制数	标准 BCD 码	十进制数	标准 BCD 码
0	0000	8	1000
1	0001	9	1001
2	0010	10	0001 0000
3	0011	11	0001 0001
4	0100	12	0001 0010
5	0101	18	0001 1000
6	0110	93	1001 0011
7	0111	127	0001 0010 0111

采用 8421BCD 码可以直接使用二进制数部件完成十进制数的存储和运算。

在 IBM PC 机中，根据在存储器中的不同存放格式，BCD 码又分为压缩性 BCD 码和非压缩型 BCD 码。压缩性 BCD 码是在一个字节中存放两个十进制数字位，而非压缩型 BCD 码每个字节只存放一个十进制数字位。

【例 1-13】 将十进制数 8534 用压缩型 BCD 码表示，则为：1000010100110100。

在计算机中存放格式为

0011 0100
1000 0101

用非压缩型 BCD 码表示，则为：00001000000001010000001100000100。

在计算机中存放格式为

0000 0100
0000 0011
0000 0101
0000 1000

1.4.2 英文字符表示方法——ASCII 码

计算机中最通用的字符信息编码为美国标准信息交换码，简称 ASCII 码（American National Standard Code Information Interchange），ASCII 码采用 7 位二进制数编码表示 128 个字符，其中 34 个起控制作用的称为“功能码”，其余的 94 个符号称为信息码，供书写程序和描述命令之用。在确定某个字符的 ASCII 码时，先确定该字符在表中所对应的行与列，列对

应着高位码 d6d5d4，行对应低位码 d3d2d1d0，高位码与低位码的组合就是该字符的 ASCII 码。最高位一般是奇偶校验位，ASCII 码表见附录 A。

最高校验位的值由奇偶校验决定。偶校验指包括奇偶校验位在内，所含“1”的个数是偶数。如字符“A”的 ASCII 码是 1000001，代码中有 2 个“1”，即偶数个 1，所以校验位应为“0”，写成 8 位二进制代码为 01000001。奇校验是指包括奇校验位在内，所含“1”的个数为奇数。如字符“D”的 ASCII 码是 1000100，代码中有 2 个“1”，即偶数个 1，所以校验位应为“1”，写成 8 位二进制代码为 11000100。另一种经常用到的奇偶校验形式称为标记校验，在这种情况下，校验位总为“1”。还有空格校验，即校验位总为“0”。计算机中用一个字节表示 ASCII 码时通常采用空格校验。

1.5 微型计算机的基本结构

1.5.1 微型计算机的组成

微型计算机由硬件和软件两部分组成。硬件是指各种功能部件电路、外部设备等。软件则是为了运行、管理和维护计算机而编制的各种程序的综合。

(1) 硬件

微型计算机的硬件由微处理器 CPU (central processing unit)，内部存储器（包括 ROM、RAM），输入/输出 (I/O) 接口电路，以及将各功能部件有机地连接在一起的总线 BUS（包括数据总线 DB，地址总线 AB 和控制总线 CB）组成。如图 1-1 所示。

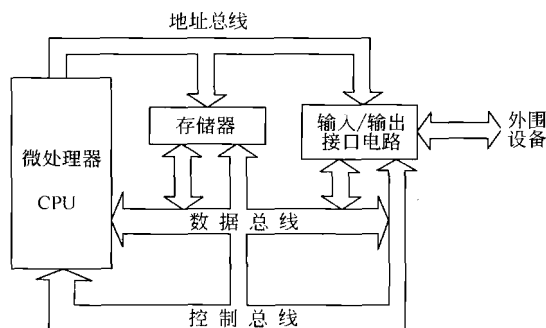


图 1-1 微型计算机的硬件组成

微处理器 CPU 是整个微型计算机的核心部件，它包括运算器和控制器。CPU 完成对数据的运算（算术运算、逻辑运算）和负责对计算机中各个部件的协调工作进行控制。计算机所做的各种工作是由计算机的程序（指令）所决定的，而程序的执行是由 CPU 来完成的，CPU 将程序中的各条指令按照一定的顺序从内部存储器中取到 CPU 中进行译码（翻译）并执行。

存储器由内部存储器和外部存储器（辅助存储器）两部分组成：内部存储器采用半导体存储器，容量相对外存小一些，但速度要远远高于外存，计算机要执行的程序及要处理的数据必须先从外部存储器调入内部存储器，才能由 CPU 执行和处理；外存的容量大，但速度要慢一些，主要用来长期保存信息（非易失性设备）。一般也把 CPU 和内存这两部分称为主机。

输入/输出接口电路是外围设备与微型计算机之间的连接电路，在两者之间进行信息交换的过程中，起暂存、缓冲、类型变换及时序匹配的作用。外部设备的速度一般都比较慢，而且不同设备的控制方式有很大的差异，因此，每个外设都必须配有一套独立的逻辑电路与主机相连，用来实现 I/O 设备与主机交换信息，我们把它称为接口电路或 I/O 接口。

总线是 CPU 与其他各功能部件之间进行信息传输的通道，按所传送信息的不同类型，总线分成地址总线（address bus）、数据总线（data bus）和控制总线（control bus）三种类型。地址总线传送的是地址信号，用来选择内存单元或外部设备；数据总线用来在计算机各部件及外设之间传送数据；控制总线用来在计算机各部件及外设之间传送各种控制信号。

(2) 软件

计算机要能够进行计算, 还需有软件配合。计算机软件系统包括计算机运行时所需的各种程序、数据、文件等。通常将各类程序的集合称为软件。软件分为系统软件和应用软件两大类。

① 操作系统 操作系统是能够管理和协调计算机软硬件资源的合理分配与使用, 方便用户使用计算机的系统程序的集合。常用的单用户操作系统有 MS-DOS, 分时/多用户操作系统有 UNIX 和 Windows 2000 等。

② 语言处理程序 计算机语言是人机通信的工具。计算机仅能读懂机器语言, 但机器语言的编制麻烦。为此, 产生了汇编语言, 即将指令的操作码和地址码用易于记忆的助记符来表示。用汇编语言写的源程序须经汇编程序 (ASSEMBLER) 翻译成用机器码表示的目标程序 (OBJECT PROGRAM) 后, 机器才能识别和执行。

汇编语句与机器指令一一对应, 易于实现对硬件的控制, 便于理解硬件工作的过程, 但用汇编语言程序的可读性较差, 程序语句数较多, 编写汇编程序是一件烦琐、困难的工作, 而且汇编程序不能在不同的机器上通用。

为了提高编程的效率, 产生了接近人的思维习惯的语言——高级语言。高级语言便于理解和掌握, 方便用户编程, 提高了效率。并且高级语言程序的通用性强, 适用于各种不同的机型。计算机执行高级语言时, 仍须将高级语言源程序用解释程序或编译程序翻译成目标程序。常用的语言有 BASIC、FORTRAN、C、JAVA 等十几种。

③ 应用软件 用户利用计算机及各种系统软件, 编制解决用户各种实际问题的程序, 这些程序集合通称为应用软件。应用软件在逐步标准化、模块化, 以形成解决各种典型问题的应用程序的组合, 即软件包。常用的应用软件有文字处理软件、电子表格、图形图像处理软件等。

1.5.2 微型计算机的工作过程

当我们用计算机来完成某项工作时, 例如解决一个数学问题, 必须先制定解决问题的方案, 进而再将其分解成计算机能识别并能执行的一系列基本操作命令, 这些操作命令按一定的顺序排列起来, 就组成了“程序”。计算机所能识别并能执行的每一条操作命令就称为一条“机器指令”, 而每条机器指令都规定了计算机所要执行的一种基本操作。因此, 程序就是完成既定任务的一组指令序列, 计算机按照规定的流程, 依次执行一条条的指令, 最终完成程序所要实现的目标。

由此可见, 计算机的工作方式取决于它的两个基本能力: 一是能存储程序, 二是能自动执行程序。计算机是利用内存来存放所要执行的程序的, 而 CPU 则依次从内存中取出程序的每条指令, 加以分析和执行, 直到完成全部指令序列为止。这就是计算机的存储程序控制方式的工作原理。

计算机不但能按照指令的存储顺序, 依次读取并执行指令, 而且还能根据指令执行结果进行程序的灵活转移, 使得计算机具有判断思维的能力。

依据计算机的存储程序控制方式的工作原理设计了现代计算机的雏形, 并确定了计算机的五大组成部分。冯·诺依曼的这一设计思想被誉为计算机发展史上的里程碑。虽然计算机发展很快, 但存储程序原理仍然是计算机的基本工作原理, 这一原理决定了人们使用计算机的主要方式——编写程序和运行程序。