

高职高专教育计算机系列教材

微机原理与接口技术

主 编 付俊辉 高国红
副主编 王永波 李学勇 夏平平

国防科技大学出版社

【内容简介】本书以 16 位微处理器为核心,追踪 Intel 主流系列高性能微机的技术发展方向,全面讲述了微机系统的组成、工作原理、硬件接口技术和典型应用。使学生系统掌握硬件接口技术,建立微机系统的整体概念,并且使之具有微机软件及硬件初步开发、设计的能力。

本书适合高职高专学生使用,也可作为计算机应用技术及管理人士的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

微机原理与接口技术/付俊辉,高国红主编. —长沙:
国防科技大学出版社,2010.12(2025.9 重印)
ISBN 978-7-81099-817-8

I. ①微… II. ①付…②高… 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. ①TP36

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 209749 号

出版发行:国防科技大学出版社
责任编辑:石少平 特约编辑:白毅娟
印刷者:三河市骏杰印刷有限公司
开 本:787mm×1 092mm 1/16
印 张:18.75
字 数:468 千字
版 次:2025 年 9 月第 1 版第 11 次印刷
定 价:48.00 元

编审委员会

顾 问 郑启华 清华大学教授
计算机教育资深专家

主 任 黄维通 全国计算机基础教育研究会副秘书长

副 主 任 谢 尧 大连职业技术学院
陈桂生 商丘职业技术学院
高 登 湖南科技职业学院
陈巧莉 陕西国防工业职业技术学院

委 员(以姓氏笔画为序)

卫世浩	王永乐	方贤进	叶小荣	冯艳茹
史德琴	刘双红	刘书伦	刘永志	李光杰
江 枫	许建民	刘妮妮	刘春霞	刘 峰
何礼富	吴 华	张 苗	郭 佳	郭建利
姚海军	侯燕落	殷晓波	晁爱农	徐桂保
常国锋	谢广彬	鲁 茂	蔡海洋	

出版说明

高职高专教育作为我国高等教育的重要组成部分,承担着培养高素质技术、技能型人才的重任。近年来,在国家和社会的支持下,我国的高职高专教育取得了不小的成就,但随着我国经济的腾飞,高技能人才的缺乏越来越成为影响我国经济进一步快速健康发展的瓶颈。这一现状对于我国高职高专教育的改革和发展而言,既是挑战,更是机遇。

要加快高职高专教育改革的步伐,就必须对课程体系和教学模式等问题进行探索。在这个过程中,教材的建设与改革无疑起着至关重要的基础性作用,高质量的教材是培养高素质人才的保证。高职高专教材作为体现高职高专教育特色的知识载体和教学的基本工具,直接关系到高职高专教育能否为社会培养并输送符合要求的高技能人才。

为促进高职高专教育的发展,加强教材建设,教育部在《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》中,提出了“重点建设好3000种左右国家规划教材”的建议和要求,并对高职高专教材的修订提出了一定的标准。为了顺应当前我国高职高专教育的发展潮流,推动高职高专教材的建设,我们精心组织了一批具有丰富教学和科研经验的人员成立了编审委员会。

编审委员会依据教育部制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》,调研了百余所具有代表性的高等职业技术学院和高等专科学校,广泛而深入地了解高职高专的专业和课程设置,系统地研究了课程的体系结构,同时充分汲取各院校在探索培养应用型人才方面取得的成功经验,并在教材出版的各个环节设置专业的审定人员进行严格审查,从而确保了整套教材“突出行业需求,突出职业的核心能力”的特色。

本套教材的编写遵循以下原则:

(1) 成立教材编审委员会,由编审委员会进行教材的规划与评审。

(2) 按照人才培养方案以及教学大纲的需要,严格遵循高职高专院校各学科的专业规范,同时最大程度地体现高职高专教育的特点及时代发展的要求。因此,本套教材非常注重培养学生的实践技能,力避传统教材“全而深”的教学模式,将“教、学、做”有机地融为一体,在教给学生知识的同时,强化了对学生实际操作能力的培养。

(3) 教材的定位更加强调“以就业为导向”,因此也更为科学。教育部对我国的高职高专教育提出了“以应用为目的,以必需、够用为度”的原则。根据这一原则,本套教材在编写过程中,力求从实际应用的需要出发,尽量减少枯燥、实用性不强的理论灌输,充分体现“以行业为导向,以能力为本,以学生为中心”的风格,从而使本套教材更具实用性和前瞻性,与就业市场结合也更为紧密。

(4) 采用“以案例导入教学”的编写模式。本套教材力图突破陈旧的教育理念,在讲解的过程中,援引大量鲜明实用的案例进行分析,紧密结合实际,以达到编写实训教材的

目标。这些精心设计的案例不但可以方便教师授课,同时又可以启发学生思考,加快对学生实践能力的培养,改革人才的培养模式。

本套教材涵盖了公共基础课系列、财经管理系列、物流管理系列、电子商务系列、计算机系列、电子信息系列、机械系列、汽车系列和化学化工系列的主要课程。

对于教材出版及使用过程中遇到的各种问题,欢迎您及时与我们取得联系。同时,我们希望有更多经验丰富的教师加入到我们的行列当中,编写出更多符合高职高专教学需要的高质量教材,为我国的高职高专教育做出积极的贡献。

编审委员会

序

21 世纪是科技和经济高速发展的重要时期。随着我国经济的持续快速健康发展,各行各业对高技能专业型人才的需求量迅速增加,对人才素质的要求也越来越高。高职高专教育作为我国高等教育的重要组成部分,在加快培养高技能专业型人才方面发挥着重要的作用。

与国外相比,我国高职高专教育起步晚,发展时间短,这种状况与我国经济发展对人才大量需求的现状是很不协调的。因此,必须加快高职高专教育的发展步伐,提高应用型人才的培养水平。

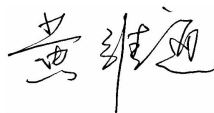
高职高专教育水平的提高,离不开课程体系的完善。相关领域人才的培养需要一批兼具前瞻性和实践性的优秀教材。教育部职业教育与成人教育司针对高职高专教育人才培养模式提出了“以就业为导向”的指导思想,这也正是本套高职高专教材的编写宗旨和依据。

如何使高职高专教材既突出行业的需求特点,又突出职业的核心能力?这是教材编写的过程中必须首先解决的问题。本系列教材编委会深入研究了高职高专教育的课程和专业设置,并对以往的教材进行了详细分析和认真考察,力图在不破坏教材系统性的前提下,加强教材的创新和实践性内容,从而确保学生在学习专业知识的同时多动手,增强自己的实践能力,以加强“知”与“行”的结合。

同时,本系列教材在编写过程中还充分重视群体和类别的差异性,面对不同学校 and 不同专业方向的定位差异,精心设计了与其相配套的辅助实验指南及相关的习题解答等。这些栏目的设计使本系列教材内容更加丰富,条理更为清晰,为老师的讲授和学生的学习都提供了很大的便利。

经过编委会的辛勤努力,本套教材终于顺利出版了,相信本套教材一定能够很好地适应现代高职高专教育的教学需求,也一定能够在高职高专教育计算机课程的改革中发挥积极的推动作用,为社会培养更多优秀的应用型人才。

全国计算机基础教育研究会副秘书长



前 言

作为一本面向高职高专教育的教材,本书力求既讲清楚微型计算机以及接口的工作原理,又注重技术的先进性和实用性,为读者学习其他计算机专业课程打下坚实的基础。

尽管当前计算机技术飞速发展,新机型、新技术不断涌现,但是考虑到学时的限制和本门课程的定位,且学生掌握微机的工作原理需要一个由浅入深、循序渐进的过程,本教材仍然以 IBM PC/XT 和 AT 机型为背景机,以 16 位微处理器为核心,追踪 Intel 主流系列高性能微机的技术发展方向,全面讲述微机系统的组成、工作原理、硬件接口技术和典型应用。在此基础上,介绍 80386、80486 和 Pentium 等高性能微处理器芯片的功能特点,使学生系统掌握汇编语言程序设计基本方法和微机硬件接口技术,建立微机系统的整体概念,并使其具有微机软件与硬件初步设计、开发的能力。

本书共分为 11 章,主要内容及学时分配见下表:

内 容	学 时
微型计算机基础知识	4
微处理器	8
指令系统	4
汇编语言程序设计	4
存储器系统	6
输入/输出接口	4
中断技术	10
通用可编程接口芯片	12
其他接口芯片	4
总线	4
合计	60

本书由付俊辉和高国红任主编,王永波、李学勇和夏平平任副主编,参加编写的还有张文超、王顺平、吕金娜、黄娟和宋安琪。在本书的编写过程中,陈付贵教授、张宝剑副教授和白林峰副教授给予了极大的帮助和支持,在此对他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,疏漏和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 微型计算机基础知识	1	2.2.2 最小与最大模式总线读/写 操作	31
1.1 计算机的发展及应用	1	2.2.3 中断响应周期	35
1.1.1 计算机的发展	1	2.3 80x86 微处理器	36
1.1.2 计算机的分类	2	2.3.1 80x86 微处理器的发展历程及 性能	36
1.1.3 微型计算机的性能指标	3	2.3.2 80386 的内部结构	38
1.1.4 微型计算机的应用	4	2.3.3 80386 的寄存器	39
1.2 微型计算机的组成	6	2.4 80386 的工作方式	44
1.2.1 微型计算机的基本结构	6	2.4.1 实地址方式	44
1.2.2 微型计算机的硬件组成	7	2.4.2 保护方式	45
1.2.3 微型计算机的软件系统	9	2.4.3 虚拟 8086 方式	49
1.3 计算机中数据信息的表示 方法	10	本章小结	51
1.3.1 进位计数制及其转换	10	习题 2	51
1.3.2 带符号数的表示	12	第 3 章 指令系统	53
1.3.3 定点表示与浮点表示	13	3.1 8086/8088 的指令格式及寻址 方式	53
1.4 算术运算和逻辑运算基础	15	3.1.1 指令格式	53
1.4.1 补码加减运算	15	3.1.2 寻址方式	54
1.4.2 逻辑运算	16	3.2 微处理器的基本指令系统	57
1.4.3 移位运算	17	3.2.1 数据传送指令	57
本章小结	18	3.2.2 算术运算类指令	62
习题 1	18	3.2.3 逻辑运算指令	66
第 2 章 微处理器	19	3.2.4 移位指令	67
2.1 8086 微处理器	19	3.2.5 串处理指令	69
2.1.1 8086 微处理器的结构	19	3.2.6 控制转移指令	72
2.1.2 8086 的寄存器	20	3.2.7 处理机控制指令	77
2.1.3 8086 系统存储器的组织	22	本章小结	79
2.1.4 8086/8088 微处理器的引脚 功能	24	习题 3	79
2.1.5 最小与最大模式	28	第 4 章 汇编语言程序设计	81
2.2 8086 总线的操作时序	30	4.1 汇编语言的基本知识	81
2.2.1 系统的复位和启动	31		

4.1.1 汇编语言的基本概念	81	6.1.1 设置接口电路的目的	139
4.1.2 汇编语言的基本语法	82	6.1.2 接口的基本功能	140
4.1.3 汇编语言和汇编处理过程	89	6.1.3 接口电路中的信息	141
4.2 汇编语言程序设计的基本方法	94	6.1.4 接口的基本结构	142
4.2.1 顺序程序设计	94	6.2 I/O 端口的编址	143
4.2.2 分支程序设计	96	6.2.1 I/O 端口的编址方式	143
4.2.3 循环程序设计	98	6.2.2 端口地址译码	144
4.2.4 子程序设计	102	6.3 CPU 与外设之间的数据传送方式	150
4.3 DOS 系统功能调用和 BIOS 中断调用	106	6.3.1 程序控制方式	151
4.3.1 DOS 系统功能调用	107	6.3.2 中断传送方式	156
4.3.2 BIOS 中断调用	109	6.3.3 直接存储器存取方式	158
本章小结	112	本章小结	162
习题 4	112	习题 6	162
第 5 章 存储器系统	114	第 7 章 中断技术	164
5.1 存储器概述	114	7.1 中断概述	164
5.1.1 存储系统的层次结构	114	7.1.1 中断源	164
5.1.2 半导体存储器的分类	116	7.1.2 中断控制	164
5.1.3 存储器的基本组成	117	7.2 8086 中断系统	167
5.1.4 存储器的主要技术指标	119	7.2.1 8086 中断的分类	168
5.2 常用的存储器	120	7.2.2 中断向量和中断向量表	169
5.2.1 随机存取存储器	120	7.3 可编程中断控制器 8259A ...	173
5.2.2 只读存储器	125	7.3.1 8259A 中断控制器内部逻辑结构	173
5.2.3 闪存	128	7.3.2 8259A 中断控制器外部引脚	174
5.3 存储器扩展技术	128	7.3.3 8259A 的工作方式	175
5.3.1 位扩展	128	7.3.4 8259A 初始化编程	177
5.3.2 字扩展	129	本章小结	185
5.3.3 字和位扩展	130	习题 7	185
5.4 存储器与 CPU 的连接	132	第 8 章 通用可编程接口芯片	186
5.4.1 连接时应注意的问题	132	8.1 并行通信接口 8255A	186
5.4.2 常用译码电路	133	8.1.1 8255A 的内部结构及外部引脚	186
5.4.3 存储器连接举例	134	8.1.2 8255A 控制字的设置	189
本章小结	137	8.1.3 8255A 的工作方式	191
习题 5	138	8.1.4 8255A 应用举例	194
第 6 章 输入/输出接口	139		
6.1 概述	139		

8.2 并行接口的应用	196	10.1.1 总线基本概念和分类	247
8.2.1 并行接口在键盘中的应用 ...	196	10.1.2 总线基本功能	248
8.2.2 并行接口在 LED 显示中的 应用	202	10.1.3 总线标准的基本内容	249
8.3 串行通信接口 8251A	206	10.1.4 总线的控制及数据传输 ...	249
8.3.1 串行接口与通信概述	206	10.1.5 PC 系列机中系统总线的 发展	250
8.3.2 串行接口标准	209	10.2 PCI 总线	251
8.3.3 可编程串行接口芯片 8251A	209	10.2.1 PCI 的提出	251
8.4 定时器/计数器 8253	216	10.2.2 PCI 总线概念	252
8.4.1 定时器/计数器概述	216	10.2.3 PCI 总线的特点	252
8.4.2 8253 的结构及其外部 引脚	217	10.2.4 PCI 总线信号	253
8.4.3 8253 的控制字和编程命令 ...	218	10.3 USB 通用串行总线简介	259
8.4.4 8253 的工作方式	221	10.3.1 USB 概述	259
8.4.5 8253 应用举例	225	10.3.2 USB 的特点	259
本章小结	227	10.3.3 USB 的硬件结构	260
习题 8	227	10.3.4 USB 的软件结构	262
第 9 章 其他接口芯片	228	10.3.5 USB 数据传输	263
9.1 DMA 控制器	228	本章小结	265
9.1.1 DMA 控制器概述	228	习题 10	265
9.1.2 8237A 的编程结构	229	第 11 章 实训	266
9.1.3 8237A 的内部寄存器	231	实训 1 可编程中断控制器 8259A	266
9.1.4 8237A 的编程及应用举例 ...	235	实训 2 可编程并行接口 8255A ...	271
9.2 D/A 和 A/D 转换接口技术	237	实训 3 可编程串行接口 8251A ...	273
9.2.1 D/A 转换器	238	实训 4 可编程计数器/定时器 8253	276
9.2.2 A/D 转换器	241	实训 5 可编程 DMA 控制器 8237	280
本章小结	245	参考文献	283
习题 9	245		
第 10 章 总线	247		
10.1 总线概述	247		

第 1 章 微型计算机基础知识

微型计算机是一种能自动、高速、精确地处理信息的现代化电子设备,具有算术运算和逻辑判断能力,并能通过预先编好的程序来自动完成数据的加工处理,因此,可以说计算机是一种帮助人类从事脑力劳动的工具。对于学习计算机专业的学生来说,了解计算机的发展及应用领域,熟悉计算机的组成结构和信息在计算机中的表示方法十分必要。

1.1 计算机的发展及应用

1.1.1 计算机的发展

自第一台电子数字计算机问世以来,计算机的发展以计算机硬件的逻辑元件为标志,大致经历了由电子管、晶体管、中小规模集成电路到大规模和超大规模集成电路 4 个发展阶段。

1. 电子管计算机

第一代计算机采用电子管作为基本电子元件,主存储器采用磁芯、磁鼓,外存储器采用磁带,程序设计主要采用机器语言和汇编语言,主要应用于科学计算。电子管计算机的主要特点是体积大、功耗大、运算速度每秒只有几千次到几万次、价格昂贵、可靠性差。虽然电子管计算机有很多缺陷,但是它的体系结构和程序设计思想为以后计算机的高速发展奠定了科学基础。第一台电子计算机 ENIAC 是典型代表,于 1946 年 2 月在美国宾夕法尼亚大学诞生,是一台电子数字积分计算机。这台计算机共用了 18 000 多个电子管、1 500 个继电器,重量超过 30 t,占地面积 170 m²,每小时耗电 140 kW,计算速度为每秒 5 000 次加法运算。

2. 晶体管计算机

第二代计算机采用晶体管作为基本电子元件,主存储器采用磁芯,外存储器开始使用磁盘,并且软件也开始有很大的发展,出现了各种高级语言及编译程序。这个时代计算机软件配置开始出现,一些高级程序设计语言相继问世。如用于科学计算的 FORTRAN,用于商业事务处理的 COBOL,用于符号处理的 LISP 等高级语言。操作系统也初步成型,使计算机的使用方式由手工操作变为自动作业管理。此时,计算机速度明显提高,耗电下降,寿命延长。计算机已发展至用于各种事务处理,并开始用于工业控制。

3. 中小规模集成电路计算机

第三代计算机采用中小规模集成电路作为基本电子元件,用半导体存储器代替磁芯存储器,采用流水线、多道程序和并行处理技术。集成电路计算机的主要特点是体积更小、速度快、精度高、功能强、计算机成本进一步下降。在此期间软件向系列化、多样化发展,并逐渐完善,分时操作系统、会话式语言等多种高级语言已经出现,并且提出了模块化与结构化

程序设计的思想。在发展大型机的同时,“小型计算机”开始出现。计算机品种开始向多样化、系列化发展,应用领域不断扩大。

4. 大规模和超大规模集成电路计算机

第四代计算机采用大规模和超大规模集成电路作为主要功能部件。大规模和超大规模集成电路计算机的主要特点是速度更快、集成度更高、软件丰富、有通信功能、软硬件密切配合。在此期间硬件和软件的技术日益完善,计算速度高达每秒千万次甚至亿次以上,计算机结构也开始以分布式处理来组织系统。同时,大型机、中型机、超小型机、计算机网络、智能模拟、软件工程等都有了新的发展。我国在 2004 年研制的超级计算机曙光 4000A 的运算能力就已经达到每秒 11 万亿次,是继美国、日本之后第三个跨越 10 万亿次的计算机研发和使用的国家。

小知识:

从 20 世纪 80 年代开始,日本、美国和欧洲纷纷展开新一代计算机的研制工作,目前新一代计算机有以下几个研究方向:

(1)神经网络计算机——模拟人的大脑思维,可同时并行处理大量实时变化的数据,并引出结论。

(2)生物计算机——运用生物工程技术,用蛋白分子作为芯片,可以使计算机体积更小,存储量更大,智能化更强。

(3)光子计算机——用光作为信息载体,通过对光的处理来完成对信息的处理,可提高运算速度、降低能耗。

(4)量子计算机——一种利用量子力学特有的物理现象(特别是量子干涉)来实现全新的信息处理方式(传统计算机遵循物理定律)。量子计算机利用一种链状分子聚合物的特性来表示开与关的状态,利用激光脉冲来改变分子的状态,使信息沿着聚合物移动,从而进行运算。

新一代计算机与前四代计算机的本质区别为:计算机的主要功能将从信息处理上升为知识处理,使计算机具有人的某些智能,所以又称为人工智能计算机。

1.1.2 计算机的分类

计算机发展的“分代”代表了计算机在时间轴上纵向的发展历程,而“分类”可用来说明计算机横向的发展。计算机种类很多,分类方法也有多种。按照原理不同,可分为模拟计算机和电子数字计算机,根据其用途,可分为通用计算机和专用计算机,等等。目前更常用的一种分类方法是按照运算速度、字长、存储性能等综合指标,将计算机分为巨型机、小巨型机、大型机、小型机、工作站、微型机 6 类。

1. 巨型机

巨型机也称为超级计算机,它是一个国家科技水平、经济实力和军事威力的象征。巨型机速度最快,性能最强,技术最复杂,具有巨大的数值计算能力和信息处理能力,是每个时代计算机高精尖技术的集中代表。目前,巨型计算机字长一般 64 位,每秒平均执行上百亿次浮点运算,主存容量达 100 万~400 万字以上,其高速数据通道每秒可传送几千万字以上数据,并且具有丰富的系统软件。世界上最快速的巨型机都采用大规模并行处理(massively parallel processing, MPP)技术,且都拥有数百甚至上万个处理器。1983 年我国首次自行研

制出了银河-I 巨型机。此后,我国又自行研制出银河-III 巨型机,每秒运算可达到 120 亿次。现在,我国正在研制更高性能的巨型机。

2. 小巨型机

小巨型机的特点表现在通用性强、具有很强的综合处理能力、性能覆盖面广等方面,主要应用在公司、银行、政府部门、社会管理机构和制造厂家等,通常人们称小巨型机为企业计算机。小巨型机在未来将被赋予更多的使命,如大型事务处理、企业内部的信息管理与安全保护、科学计算等。

3. 大型机

大型机包括国内常说的大、中型机。其特点是大型、通用,整机运算速度高达 300 750 MIPS,具有很强的处理和管理能力,大型机主要用于大银行、大公司、规模较大的高校和科研院所。在计算机向网络迈进的时代,大型机的生存空间也将逐渐扩大。

4. 小型机

小型机规模小,结构简单,设计周期短,便于及时采用先进工艺。这类机器由于可靠性高,对运行环境要求低,因此易于操作且便于维护。小型机符合部门性的要求,为中小型企业事业单位所常用,具有规模小、成本低、维护方便等优点。

5. 工作站

工作站是一种高档微机系统。它具有较高的运算速度,具有大小型机的多任务、多用户功能,且兼具微型机的操作便利和良好的人机界面的特点。它可以连接到多种输入/输出设备,易于连网、处理功能强。其应用领域也已从最初的计算机辅助设备扩展到商业、金融、办公领域,并充当网络服务器的角色。

6. 微型机

微型机又称个人计算机(personal computer, PC),是日常生活中使用最多、最普遍的计算机,具有价格低廉、性能强、体积小、功耗低等特点。现在微型计算机已进入千家万户,成为人们工作、生活的重要工具。

微型机按字长可分为 8 位、16 位、32 位、64 位机;按组装形式可分为非便携式和便携式微型机,前者称为台式机,后者是一种可移动的微型机,如笔记本电脑和掌上电脑。

1.1.3 微型计算机的性能指标

一台微型计算机功能的强弱或性能的好坏,不是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”(million instructions per second, 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 III/800 的主频为 800 MHz, Pentium 4 3.2 G 的主频为 3.2 GHz。一般来说,主频越高,运算速度就越快。

2. 字长

计算机在同一时间内处理的一组二进制数称为计算机的一个“字”，而这组二进制数的位数就是“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，目前 Pentium 4 是 64 位。

3. 内存储器的容量

内存储器，简称主存，是 CPU 可以直接访问的存储器。计算机需要执行的程序与需要处理的数据存放在主存中。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，人们对计算机内存储器的容量的需求也不断提高。目前，运行 Windows 7 操作系统至少需要 1 GB 的内存容量，运行 Windows 8 则需要 1 GB(32 位)或 2 GB(64 位)的内存容量。内存容量越大，系统功能就越强，能处理的数据量就越大。

4. 外存储器的容量

外存储器的容量通常是指硬盘容量(包括内置硬盘和移动硬盘)。外存储器的容量越大，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 500 GB~2 TB，有的甚至已达到 4 TB。

以上只是一些计算机的主要性能指标。除了上述主要性能指标外，微型计算机还有其他一些指标，例如，所配置外围设备的性能指标以及所配置系统软件的情况等。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，而且还要遵循“性能价格比”的原则。

1.1.4 微型计算机的应用

20 世纪 90 年代以来，计算机技术作为科技的先导技术之一，得到了飞跃式的发展，超级并行计算机技术、高速网络技术、多媒体技术、人工智能技术等相互渗透，改变了人们使用计算机的方式，从而使计算机几乎渗透到人类生产和生活的各个领域。计算机的应用范围归纳起来主要有以下一些方面。

1. 科学计算

科学计算也称“数值计算”，是指用计算机完成科学研究和工程技术中所提出的数学问题。计算机作为一种计算工具，科学计算是它最早的应用领域，也是计算机最重要的应用之一。在科学技术和工程设计中存在着大量的各类数字计算，如求解几百阶乃至上千阶的线性方程组、大型矩阵运算等。这些问题广泛出现在导弹实验、卫星发射、灾情预测等领域，其特点是数据量大、计算工作复杂。在数学、物理、化学、天文等众多学科的科学研究中，经常遇到许多用传统的计算工具难以完成的数学问题，而使用计算机则只需要几天、几小时甚至几分钟就可以精确地解决。所以，计算机是发展现代尖端科学技术必不可少的重要工具。

2. 数据处理

人类已从工业化社会进入信息化社会，信息已成为非常重要的资源。数据处理也称“信息处理”，是指对数值、字符、文字、声音、图形和图像等各种类型的数据进行收集、存储、分类、加工、排序、检索、打印和传送等工作。数据处理具有数据量大、输入/输出频繁、时间性

强等特点,一般不涉及复杂的数值计算。计算机的应用从数值计算到非数值计算,是计算机发展史上的一个飞跃。据统计,在计算机的所有应用中,数据处理方面的应用,约占全部应用的3/4以上。数据处理是现代化管理的基础,广泛地用于情报检索、统计、事务管理、生产管理自动化、决策系统、办公自动化等方面。

3. 过程控制

过程控制也称“实时控制”,是用计算机及时采集数据,按最佳值迅速对控制对象进行自动控制或采用自动调节的过程。利用计算机进行过程控制,不仅大大提高了控制的自动化水平,而且大大提高了控制的及时性和准确性。

过程控制的特点是及时收集并检测数据,按最佳值调节控制对象。在电力、机械制造、化工、冶金、交通等部门采用过程控制,可以提高劳动生产效率、产品质量、自动化水平和控制精确度,减少生产成本,减轻劳动强度。在军事上,可使用计算机对导弹实时控制,根据目标的移动情况修正导弹飞行状态,以准确击中目标。

4. 计算机辅助工程

计算机辅助工程是以计算机为工具,配备专用软件辅助人们完成特定任务的工作,以提高工作效率和工作质量。

计算机辅助制造(computer aided manufacturing,CAM)是指利用计算机通过各种数值控制生产设备,完成产品的加工、装配、检测、包装等生产过程的技术。将CAM进一步集成形成了计算机集成制造系统CIMS,从而实现设计生产自动化。利用CAM可提高产品质量,降低成本和劳动强度。

计算机辅助设计(computer aided design,CAD)和计算机辅助制造CAM是方便设计人员利用计算机来协助进行最优化设计,制造人员利用计算机进行生产设备的管理、控制和操作的软件。目前,在电子、机械、造船、航空、建筑、化工、电器等方面都有CAD和CAM的应用,这样可以提高设计质量,缩短设计和生产周期,提高自动化水平。

计算机辅助教学(computer aided instruction,CAI)是利用计算机的功能程序把教学内容变成软件,使得学生可以在计算机上学习,使教学方式更加多样化、形象化,以取得更好的教学效果。

电子设计自动化(electronic design automation,EDA)技术是利用计算机中安装的专用软件和接口设备,用硬件描述语言开发可编程芯片,将软件固化,从而扩充硬件系统的功能,提高系统的可靠性和运行速度。

5. 办公自动化

办公自动化(office automation,OA)指用计算机帮助办公室人员处理日常工作。例如,用计算机进行文字处理、文档管理、资料、图像处理、声音处理和网络通信等。它既属于信息处理的范围,又是目前计算机应用的一个较独立的领域。

6. 数据通信与网络

数据通信主要是利用通信卫星群和光导纤维构成的计算机应用网络,实现信息双向交流,同时利用多媒体技术扩大计算机的应用范围。通信卫星的覆盖面广,光导纤维传输的信息量大,保密性好,它们的优势互补,利用计算机将两者结合起来,可在全球范围内双向传送包括电视图像在内的各种信号,把整个地球网络连接起来,使人们在家里就可以收看世界上任何一家电视台的节目,通过屏幕与远在千里之外的友人“面对面”通话。以计算机为核心

的信息高速公路的发展,人们的生活方式将进一步改变。

7. 人工智能

人工智能(artificial intelligence, AI)是用计算机模拟人类的智能活动,如判断、理解、学习、图像识别、问题求解等。它涉及计算机科学、信息论、仿生学、神经学和心理学等诸多学科。在人工智能中,最具代表性、应用最成功的两个领域是计算机专家系统和机器人。

计算机专家系统是一个具有大量专门知识的计算机程序系统。它总结了某个领域的知识并构建知识库。根据这些知识,系统可以对输入的原始数据进行推理,作出判断和决策,以回答用户的咨询,这是人工智能应用的一个成功的例子。

机器人是人工智能技术的另一个重要应用。目前,世界上有许多机器人工作在各种恶劣环境中,如高温、高辐射、剧毒等。机器人的应用前景非常广阔。现在有很多国家正在研制机器人。

8. 电子商务

电子商务(electronic commerce),是指利用简单、快捷、低成本的电子通信方式,买卖双方互不谋面地进行各种商贸活动,如网上购物的淘宝网、拍拍网、当当网等。电子商务可通过多种电子通信方式来完成,但目前主要是以 EDI(电子数据交换)和 Internet 来完成的。作为一种新型的商务模式,电子商务具有普遍性、方便性、整体性、安全性、协调性等特征。

9. 娱乐

计算机正在走向家庭,在工作之余人们可以使用计算机欣赏 DVD 影碟、听音乐、玩游戏等。

1.2 微型计算机的组成

一个完整的微型计算机系统由硬件系统和软件系统两大部分组成。硬件是计算机物质基础,硬件系统主要由主机(CPU、主存储器)和外部设备(输入/输出设备、辅存)构成。软件是支持计算机工作的程序,它需要人根据机器的硬件结构将要解决的实际问题预先编制好,并且输入计算机的主存中,软件系统由系统软件和应用软件等组成。硬件和软件是一个有机的整体,必须协同工作才能发挥计算机的作用。

1.2.1 微型计算机的基本结构

20 世纪 40 年代中期,科学家冯·诺依曼大胆地提出了采用二进制作为数字计算机的数制基础的理论。同时,他还提出了计算机组成结构、程序存储和程序设计等思想。人们把冯·诺依曼的这些理论总结为冯·诺依曼体系结构。从 ENIAC 到当前最先进的计算机采用的都是冯·诺依曼体系结构。

冯·诺依曼指出计算机硬件系统应由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备构成,基本结构框图如图 1-1 所示。根据冯·诺依曼体系结构构成的计算机必须具有如下特征:

- 程序和数据在计算机中以二进制的方式执行。
- 必须能够记忆程序、数据、中间结果及最终运算结果。

- 具有完成各种算术、逻辑运算和数据传送等数据加工处理的能力。
- 指令由操作码和地址码组成。
- 能够根据需要控制程序走向,并能根据指令控制机器的各部件协调操作。

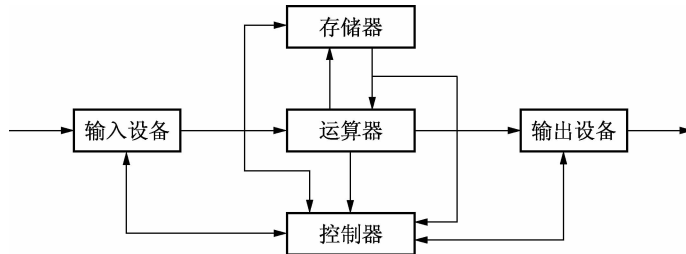


图 1-1 冯·诺依曼型计算机的基本结构

微型计算机系统的组成由小到大可分为微处理器、微型计算机和微型计算机系统,如图 1-2所示。

(1)微处理器(microprocessor)是微型计算机的核心部件,是一个大规模集成电路芯片,其上集成了运算器、控制器、寄存器组和内部总线等部件。微处理器本身不是计算机,常简称为 CPU。

(2)微型计算机(microcomputer)是以微处理器为基础,配以存储器、系统总线及输入/输出接口电路所组成的裸机。它包括微型计算机运行时所需要的硬件支持。

(3)以微型计算机为主体,配上电源系统、输入/输出设备及软件系统就构成了微型计算机系统(microcomputer system)。其中,软件系统包括系统软件和应用软件。系统软件主要包括操作系统、诊断系统、服务程序、汇编程序、语言编译系统等;应用软件也称用户程序,是用户为利用计算机来解决自己的某些问题所编制的程序。

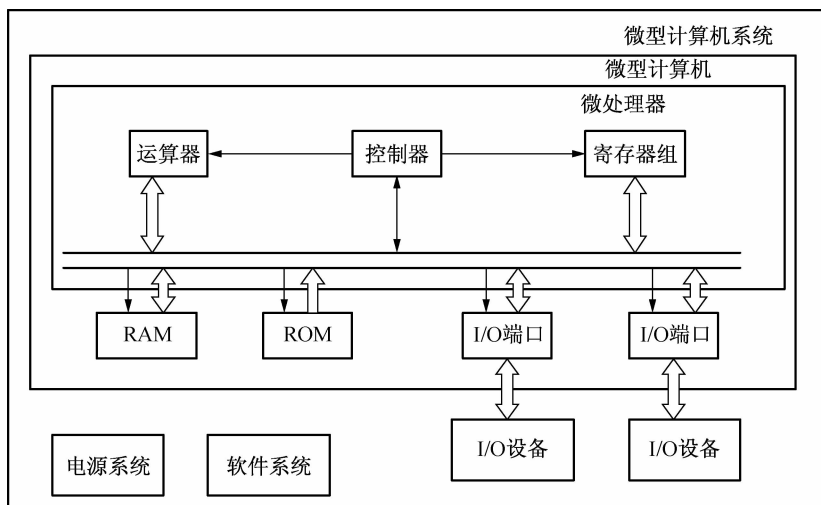


图 1-2 微型计算机系统的层次结构

1.2.2 微型计算机的硬件组成

从大的功能部件来看,微型计算机的硬件主要由微处理器(CPU)、存储器、输入/输出接口

(I/O 接口)与输入/输出设备(I/O 设备)组成,各组成部分通过系统总线联系起来。系统总线是各部件之间传送信息的公共通道,包括地址总线(AB)、数据总线(DB)和控制总线(CB)。

微型计算机的硬件结构如图 1-3 所示。

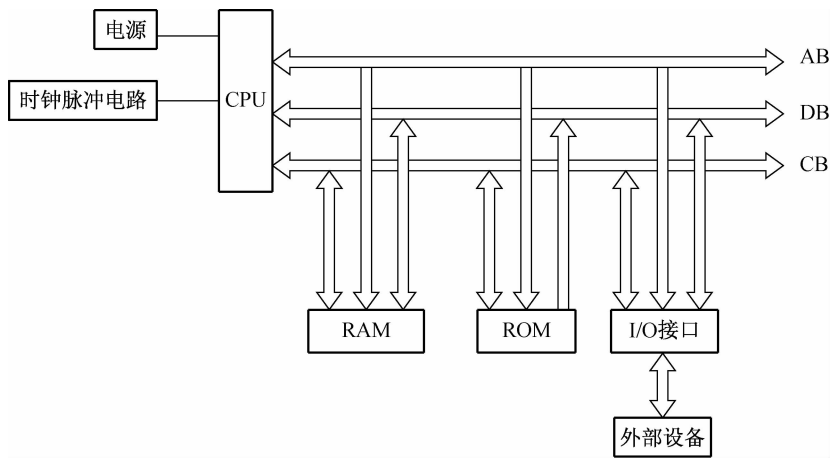


图 1-3 微型计算机的硬件结构框图

1. 微处理器

不同型号的微型计算机,其性能优劣主要取决于其微处理器性能的不同。微处理器由控制器、运算器和寄存器组 3 个主要部分组成。

(1)控制器:控制器是计算机的指挥中心。它的作用是从存储器中取出指令,然后分析指令,发出由该指令规定的一系列操作命令,完成指令的功能。控制器主要由程序计数器(PC)、指令寄存器(IR)、指令译码器(ID)、时序信号发生器等部件构成。控制器是计算机的关键部件,它的功能直接关系到计算机的性能。

(2)运算器:运算器又称算术逻辑单元(arithmetic and logical unit, ALU),是用二进制进行算术运算和逻辑运算的部件。它以加法运算为核心,可以完成加、减、乘、除四则运算和各种逻辑运算,新型 CPU 的运算器还可以完成各种浮点运算。运算器的功能和速度对计算机来说至关重要。

(3)寄存器组:寄存器组是 CPU 内部的若干个存储单元,用来存放参加运算的二进制数据以及保存运算结果。一般可分为通用寄存器和专用寄存器,通用寄存器可供程序员编程使用,专用寄存器的作用是固定的,如堆栈指针、标志寄存器等。

2. 存储器

这里讲的存储器是指内存储器(内存),它用来存放计算机的指令和数据。存储器以单元为单位线性编址,CPU 按其地址读/写单元,通常一个单元可存放 8 位二进制数(即一个字节)。计算机程序只有存放到内存中才能被执行。内存可分为随机存储器(random access memory, RAM)和只读存储器(read only memory, ROM)两大类。本书第 5 章将对存储器作详细介绍。

3. 输入/输出接口与输入/输出设备

输入/输出设备(简称 I/O 设备)是计算机与外界联系的设备,简称为外设。计算机通过外设获得各种外界信息,并且通过外设输出运算处理结果。常用的输入设备有键盘、鼠

标、扫描仪等,常用的输出设备有显示器、打印机、绘图仪等。

微型计算机与 I/O 设备间的信息交换不能直接进行,必须通过输入/输出接口(I/O 接口)将两者连接起来,I/O 接口实质上是将外设连接到计算机总线上的一组逻辑电路的总称。

4. 系统总线

总线是一组信号线的集合,是在计算机系统各部件之间传输地址、数据和控制信息的公共通路,从物理结构来看,它由一组导线和相关的控制、驱动电路组成。

微型计算机采用了总线结构,CPU 通过总线实现读取指令,并通过它与内存、外设进行数据交换。

在 CPU、存储器、I/O 接口之间传输信息的总线称为“系统总线”。系统总线包括:

(1)地址总线(address bus,AB)。它是单向总线,用于传送 CPU 发出的地址信息,以指明与 CPU 交换信息的内存单元或 I/O 设备。

(2)数据总线(data bus,DB)。它是双向的,用于 CPU 与内存或外设之间进行数据交换时传输数据信息。

(3)控制总线(control bus,CB)。控制总线用于传送控制信号、时序信号和状态信号等。CPU 向内存或外设发出的控制信息,内存或外设向 CPU 发出的状态信息均可通过它来传送。可见作为一个整体而言,CB 是双向的,而对 CB 中的每一根数据线来说,它是单向的。

1.2.3 微型计算机的软件系统

软件是计算机系统中使用的各种程序,而软件系统是指整个计算机硬件系统工作的程序集合。软件系统所包含的内容非常丰富,因而对其分类也较为困难。图 1-4 给出了现代计算机系统的软件分类,整个软件系统按其功能分为系统软件和应用软件两大类。

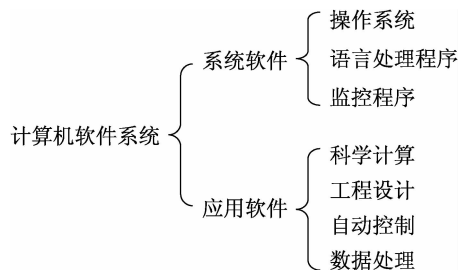


图 1-4 计算机系统的软件分类

系统软件主要功能是对整个计算机系统进行调度、管理、监视及服务。它能够使系统的各种资源得到合理的调度和高效的使用,并能监视系统的运行状态,一旦出现故障就能自动保护现场信息使之不受破坏,并诊断出故障部位。它还可以帮助用户调试程序、查找程序中的错误等。

应用软件是指除了系统软件以外的所有软件,由各种应用软件包和面向问题的各种应用程序组成。应用软件是为用户提供在各个具体应用领域中的辅助功能,它也是绝大多数用户学习、使用计算机时最感兴趣的内容。如计算机辅助绘图软件 AutoCAD、办公软件 Office、图形图像处理软件 Photoshop、网络下载软件网际快车和迅雷等。

1.3 计算机中数据信息的表示方法

计算机只能处理二进制的 0 和 1, 因此必须将数值、字符、声音、图形和图像、视频等各种信息转换成为计算机能够处理的二进制数据。计算机可处理的数值、文字、图形、声音、视频, 甚至各种模拟信息量等数据, 在计算机系统内部, 主要表示成定点数(整数)、浮点数(实数)、逻辑数(布尔数)、字符、字符串等形式, 并且都必须采用数字化编码。

1.3.1 进位计数制及其转换

数制即表示数的方法, 按进位的原则进行计数的数制称为进位计数制, 简称“进制”。通常是以十进制来进行计算, 另外, 还有二进制、八进制和十六进制等。在计算机的数制中, 要掌握 3 个概念, 即数码、基数和位权。

1. 数码

数码是指一个数制中表示基本数值大小的不同数字的计数符号。例如:

(1) 十进制(decimal notation)有 10 个计数符号: 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9。

(2) 二进制(binary notation)有两个计数符号: 0 和 1。

(3) 八进制(octal notation)有 8 个计数符号: 0、1、2、3、4、5、6、7。

(4) 十六进制(hexadecimal notation)有 16 个计数符号: 0~9, A, B, C, D, E, F, 其中 A~F 对应十进制的 10~15。

2. 基数

基数是指一个数制所使用数码的个数。例如:

(1) 十进制的基数为 10。

(2) 八进制的基数为 8。

(3) 二进制的基数为 2。

(4) 十六进制的基数为 16。

3. 位权

位权是指一个数制中某一位上的 1 所表示数值的大小。例如:

(1) 对于任意一个 n 位整数和 m 位小数的十进制数, 均可按权展开为

$$D = D_{n-1} \cdot 10^{n-1} + \cdots + D_1 \cdot 10^1 + D_0 \cdot 10^0 + D_{-1} \cdot 10^{-1} + \cdots + D_{-m} \cdot 10^{-m}$$

(2) 对于任意一个 n 位整数和 m 位小数的二进制数, 均可按权展开为

$$D = B_{n-1} \cdot 2^{n-1} + B_{n-2} \cdot 2^{n-2} + \cdots + B_1 \cdot 2^1 + B_0 \cdot 2^0 + B_{-1} \cdot 2^{-1} + \cdots + B_{-m} \cdot 2^{-m}$$

(3) 对于任意一个 n 位整数和 m 位小数的八进制数, 均可按权展开为

$$D = O_{n-1} \cdot 8^{n-1} + \cdots + O_1 \cdot 8^1 + O_0 \cdot 8^0 + O_{-1} \cdot 8^{-1} + \cdots + O_{-m} \cdot 8^{-m}$$

(4) 对于任意一个 n 位整数和 m 位小数的十六进制数, 均可按权展开为

$$D = H_{n-1} \cdot 16^{n-1} + \cdots + H_1 \cdot 16^1 + H_0 \cdot 16^0 + H_{-1} \cdot 16^{-1} + \cdots + H_{-m} \cdot 16^{-m}$$

4. 进制之间的转换

不同数进制之间进行转换应遵循转换原则。转换原则是: 两个有理数如果相等, 则有理

数的整数部分和分数部分一定分别相等。

1) 二进制、八进制、十六进制数转换为十进制数

按权相乘相加,即各数位与相应位权值相乘以后再相加即为对应的十进制数。

(1) 二进制数转换成十进制数。将二进制数转换成十进制数,只要将二进制数用计数制通用形式表示出来,计算出结果,便得到相应的十进制数。例如:

$$\begin{aligned}(11001.1)_2 &= 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} \\ &= 16 + 8 + 0 + 0 + 1 + 0.5 \\ &= (25.5)_{10}\end{aligned}$$

(2) 八进制数转换为十进制数。八进制数转换成十进制数,将八进制数以 8 为基数按权展开并相加。例如:

$$\begin{aligned}(305.13)_8 &= 3 \times 8^2 + 0 \times 8^1 + 5 \times 8^0 + 1 \times 8^{-1} + 3 \times 8^{-2} \\ &= 192 + 0 + 5 + 0.125 + 0.046\ 875 \\ &= (197.171\ 875)_{10}\end{aligned}$$

(3) 十六进制数转换为十进制数。十六进制数转换成十进制数,将十六进制数以 16 为基数按权展开并相加。例如:

$$\begin{aligned}(10B.E5)_{16} &= 1 \times 16^2 + 0 \times 16^1 + 11 \times 16^0 + 14 \times 16^{-1} + 5 \times 16^{-2} \\ &= 256 + 0 + 11 + 0.875 + 0.019\ 531\ 25 \\ &= (267.894\ 531\ 25)_{10}\end{aligned}$$

2) 十进制数转换为二进制数

(1) 整数部分的转换。整数部分的转换采用的是除 2 取余法。其转换原则是:将该十进制数除以 2,得到一个商和余数(K_0),再将商除以 2,又得到一个商和余数(K_1),如此反复,得到的商是 0 时得到余数(K_{n-1}),然后将所得到的各位余数,以最后余数为最高位,最初余数为最低位依次排列,即 $K_{n-1}K_{n-2}\cdots K_1K_0$,这就是该十进制数对应的二进制数。这种方法又称为“倒序法”。

(2) 小数部分的转换。小数部分的转换采用乘 2 取整法。其转换原则是:将十进制数的小数乘以 2,取乘积中的整数部分作为相应二进制数小数点后最高位 K_{-1} ,反复乘 2,逐次得到 K_{-2} 、 K_{-3} 、 $\cdots$ 、 K_{-m} ,直到乘积的小数部分为 0 或 1 的位数达到精确度要求为止。然后把每次乘积的整数部分由上而下依次排列起来($K_{-1}K_{-2}\cdots K_{-m}$),即是所求的二进制数。这种方法又称为“顺序法”。

例如,将 $(75.453)_{10}$ 转换成二进制数(取 4 位小数)。

整数部分			小数部分		
2 75	取余数	低 ↑ 高	0.453	取整数	高 ↓ 低
2 37	1		$\times 2$	0	
2 18	1		0.906		
2 9	0		$\times 2$	1	
2 4	1		1.812		
2 2	0		$\times 2$	1	
2 1	0		1.624		
0	1		$\times 2$	1	
			1.248		

结果: $(75.453)_{10} = (1001011.0111)_2$ 。

3) 八进制数与二进制数之间的转换

(1) 八进制转换为二进制数。八进制数转换成二进制数所使用的转换原则是“一位拆三位”，即把一位八进制数对应于三位二进制数，然后按顺序连接即可。例如：

$$(751.42)_8 = \left(\frac{111}{7} \frac{101}{5} \frac{001}{1} \frac{100}{4} \frac{010}{2} \right)_2$$

结果： $(751.42)_8 = (111101001.100010)_2$ 。

(2) 二进制数转换成八进制数。二进制数转换成八进制数可概括为“三位并一位”，即从小数点开始向左右两边以每三位为一组，不足三位时补 0，然后每组改成等值的一位八进制数即可。例如：将二进制数 1101111101.110011 转换为八进制数。

$$\left(\frac{011}{3} \frac{011}{3} \frac{111}{7} \frac{101}{5} \frac{110}{6} \frac{011}{3} \right)_2 = (3375.63)_8$$

结果： $(1101111101.110011)_2 = (3375.63)_8$ 。

4) 十六进制数与二进制数之间的转换

(1) 二进制数转换成十六进制数。二进制数转换成十六进制数的转换原则是“四位并一位”，即以小数点为界，整数部分从右向左每 4 位为一组，若最后一组不足 4 位，则在最高位前面添 0 补足 4 位，然后从左边第一组起，将每组中的二进制数按权数相加得到对应的十六进制数，并依次写出即可；小数部分从左向右每 4 位为一组，最后一组不足 4 位时，尾部用 0 补足 4 位，然后按顺序写出每组二进制数对应的十六进制数。例如：将二进制数 11001101101.1100101 转换为十六进制数。

$$\left(\frac{0110}{6} \frac{0110}{6} \frac{1101}{D} \frac{1100}{C} \frac{1010}{A} \right)_2 = (66D.CA)_{16}$$

结果： $(11001101101.1100101)_2 = (66D.CA)_{16}$ 。

(2) 十六进制数转换成二进制数。十六进制数转换成二进制数的转换原则是“一位拆四位”，即把 1 位十六进制数写成对应的 4 位二进制数，然后按顺序连接即可。例如：

$$(76E.F5)_{16} = \left(\frac{0111}{7} \frac{0110}{6} \frac{1110}{E} \frac{1111}{F} \frac{0101}{5} \right)_2$$

结果： $(76E.F5)_{16} = (011101101110.11110101)_2$ 。

1.3.2 带符号数的表示

在计算机中参加运算的数有正负之分，通常在计算机中用 $X = X_0 X_1 X_2 \cdots X_{n-1}$ 来表示一个二进制数，并规定当 $X_0 = 0$ 时 X 为正数， $X_0 = 1$ 时 X 为负数。机器数可以有不同的表示方法。对有符号数，机器数常用的表示方法有原码、反码和补码。

1. 原码

上述机器数表示方法，即最高位表示符号、数值位用二进制绝对值表示的方法，便为原码表示方法。可见，原码的定义可表示为：

$$[X]_{\text{原}} = \begin{cases} X & 0 \leq X < 2^{n-1} \\ 2^{n-1} + |X| & -2^{n-1} < X \leq 0 \end{cases}$$

$[X]_{\text{原}}$ 所能表示数的范围为： $[-(2^{n-1}-1), (2^{n-1}-1)]$ ，它对应于原码的 $111\cdots 1 \sim 011\cdots 1$ 。

数 0 的原码有两种不同形式：

$$[+0]_{\text{原}} = 000\cdots 0$$

$$[-0]_{\text{原}} = 100 \cdots 0$$

原码表示简单、直观,与真值间转换方便,但用它作加减法运算不方便,而且0有+0和-0两种表示方法。

2. 反码

正数的反码表示与原码相同;负数的反码是将其对应的正数各位(连同符号位)取反得到,或将其原码除符号位各位取反得到。可见,反码的定义可表示为:

$$[X]_{\text{反}} = \begin{cases} X & 0 \leq X < 2^{n-1} \\ 2^{n-1} - 1 - |X| & -2^{n-1} < X \leq 0 \end{cases}$$

$[X]_{\text{反}}$ 所能表示数的范围为: $[-(2^{n-1}-1), (2^{n-1}-1)]$,它对应于反码的 $100 \cdots 0 \sim 011 \cdots 1$ 。

例如, $[+3]_{\text{反}} = 00000011$ (设为8位), $[-3]_{\text{反}} = 11111100$ (设为8位)。

数0的反码也是两种形式:

$$[+0]_{\text{反}} = 000 \cdots 0 (\text{全 } 0)$$

$$[-0]_{\text{反}} = 111 \cdots 1 (\text{全 } 1)$$

将反码还原为真值的方法是:反码 $\rightarrow$ 原码 $\rightarrow$ 真值,即 $[X]_{\text{原}} = [[X]_{\text{反}}]_{\text{反}}$ 。或者说,当反码的最高位为0时,后面的二进制序列值即为真值,且为正;最高位为1时,则为负数,后面的数值位要按位求反才为真值。

3. 补码

正数的补码表示与原码相同;负数的补码是将对应的正数各位(连同符号位)取反加1(最低位加1)而得到的,或将其原码除符号位外各位取反加1而得到。可见,补码的定义可表示为:

$$[X]_{\text{补}} = \begin{cases} X & 0 \leq X < 2^{n-1} \\ 2^{n-1} - |X| & -2^{n-1} \leq X < 0 \end{cases}$$

$[X]_{\text{补}}$ 所能表示数的范围为: $[-2^{n-1}, (2^{n-1}-1)]$,它对应于补码的 $100 \cdots 0 \sim 011 \cdots 1$ 。

例如, $[+3]_{\text{补}} = 00000011$ (设为8位), $[-3]_{\text{补}} = 11111101$ (设为8位)。

数0的补码只有一个:

$$[+0]_{\text{补}} = [-0]_{\text{补}} = 000 \cdots 0 (\text{全 } 0)$$

将补码还原为真值的方法是:补码 $\rightarrow$ 原码 $\rightarrow$ 真值,而 $[X]_{\text{原}} = [[X]_{\text{补}}]_{\text{补}}$ 。或者说,若补码的符号位为0,则其后的数值的值即为真值,且为正;若符号位为1,则应将其后的数值位按位取反加1,所得结果才是真值,且为负。

1.3.3 定点表示与浮点表示

在计算机中涉及小数点位置时,有定点和浮点两种表示方法。顾名思义,定点表示就是小数点在数中的位置是固定不变的;而浮点则表示小数点的位置是浮动的。

1. 定点表示

任何一个二进制数都可以表示成一个纯整数或纯小数与一个2的正数次幂的乘积的形式:

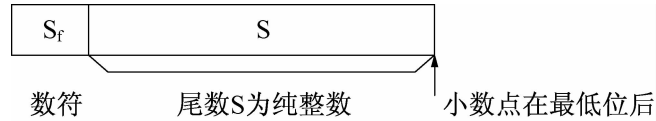
$$N = 2^p \times S$$

其中:S表示全部有效数字,称为N的尾数;P称为N的阶码,它指明了小数点的位置;2称

为阶码的底。P 和 S 均为用二进制表示的数。

1) 定点整数

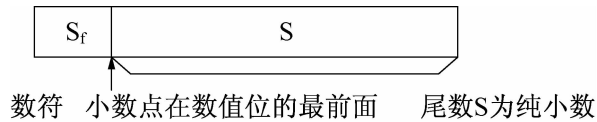
当 $P=0$ 且尾数为纯整数时, 定点数只能表示整数。形式为:



通常数符 0 表示正数, 1 表示负数, 尾数常以原码表示。

2) 定点小数

当 $P=0$ 且尾数为纯小数时, 定点数只能表示纯小数。形式为:



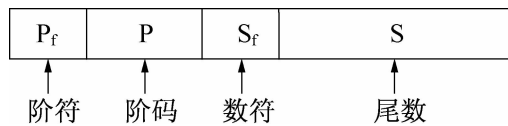
例如:

+0.1010101	在机内表示为	0	1010101
-0.1010101	在机内表示为	1	1010101

在机器中小数点不占位置, 因而不能区分是定点小数还是定点整数。小数点位置是由程序员预先约定好的。

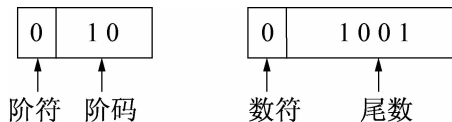
2. 浮点表示

如果阶码 P 不为 0, 且可以在一定范围内取值, 这样的数称为浮点数。形式为:



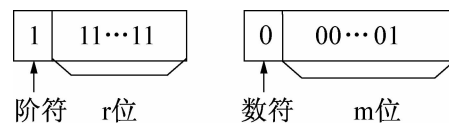
阶码常用补码表示法, 尾数常为原码表示的纯小数。浮点数的格式、字长因机器而异。

对于一个浮点数, 如 $N=2^{10} \times 0.1001$, 它在计算机中的表示形式为:

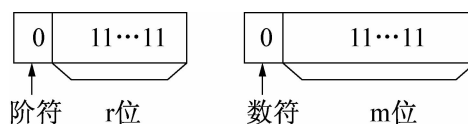


由于在浮点法中, 小数点的位置不是固定的, 因此在要求数值不变的情况下, 小数点往左移一位, 相应阶码加 1。

在浮点数法中, 若用 r 位表示阶码, m 位表示尾数, 以正数为例, 浮点法所能表示的最小数为:



最大数则为:



所以浮点法表示的正数范围为：

$$2^{-(2^r-1)} \times 2^{-m} \leq N \leq 2^{(2^r-1)} \times (1-2^{-m})$$

若表示数的总位数($r+m+2$)不变,则分给阶码的位数越多,表示数的范围就越大。但由于表示尾数的位数减少,故使表示数的有效位数减少,这也是不希望的,通常要求阶码的位数所表示的数码的最大值等于或略大于尾数的位数。一般对于位数相同的计算机,浮点法能表示的范围比定点法大。

1.4 算术运算和逻辑运算基础

在计算机中可进行两种运算:算术运算和逻辑运算。

1.4.1 补码加减运算

算术运算时,参与运算的二进制数码表示的是数值大小。常见的算术运算有加、减、乘、除、乘方、开方等。一般计算机中都提供了加、减、乘、除指令,其他更复杂的算术运算要利用算术变换成基本的四则运算来实现。从硬件实现的角度看,各种算术运算的基础是加、减运算。对于采用补码运算的计算机,加法运算又是基础的基础。

补码的加减法运算规则:

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

其中,X、Y 为正、负数均可。该式说明,无论加法还是减法运算,都可由补码的加法运算实现,运算结果(和或差)也以补码表示。若运算结果不产生溢出,且最高位(符号位)为 0,则表示结果为正数;最高位为 1,则结果为负数。

1. 补码加法

运算公式为:

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

根据补码定义,分 4 种情况可以证明该式的正确性。

(1) $X > 0, Y > 0$, 则 $(X+Y) > 0$ 。由补码定义 $[X]_{\text{补}} = X, [Y]_{\text{补}} = Y$, 得 $[X]_{\text{补}} + [Y]_{\text{补}} = X+Y = [X+Y]_{\text{补}}$ 。

(2) $X < 0, Y < 0$, 则 $(X+Y) < 0$ 。由补码定义 $[X]_{\text{补}} = M+X, [Y]_{\text{补}} = M+Y \pmod{M}$, 得 $[X]_{\text{补}} + [Y]_{\text{补}} = M+X+M+Y = M+M+X+Y = M+[X+Y]_{\text{补}} = [X+Y]_{\text{补}} \pmod{M}$ 。

(3) $X > 0, Y < 0$ 。由补码定义 $[X]_{\text{补}} = X, [Y]_{\text{补}} = M+Y \pmod{M}$, 得 $[X]_{\text{补}} + [Y]_{\text{补}} = X+M+Y = M+X+Y$ 。有两种情况:

- 当 $(X+Y) \geq 0$ 时, M 被丢掉, 因此 $[X]_{\text{补}} + [Y]_{\text{补}} = X+Y = [X+Y]_{\text{补}} \pmod{M}$ 。
- 当 $(X+Y) < 0$ 时, 有 $[X]_{\text{补}} + [Y]_{\text{补}} = M+X+Y = [X+Y]_{\text{补}} \pmod{M}$ 。

(4) $X < 0, Y > 0$ 。情况与(3)类似, 只需将 X, Y 位置对调即可证明。

2. 补码减法

运算公式为:

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

通过 $[Y]_{\text{补}}$ 求得 $[-Y]_{\text{补}}$, 可以将减法运算转化为补码的加法运算, 运算公式为:

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

已知 $[Y]_{\text{补}}$ 求 $[-Y]_{\text{补}}$ 的法则是:对 $[Y]_{\text{补}}$ 各位(包括符号位)取反,末位加1,就可以得到 $[-Y]_{\text{补}}$ 。例如:

• $[Y]_{\text{补}} = 1.1011$, 则 $[-Y]_{\text{补}} = 0.0101$

• $[Y]_{\text{补}} = 0.1011$, 则 $[-Y]_{\text{补}} = 1.0101$

根据以上讲述,补码减法运算法则如下:

(1)参加运算操作的数都用补码表示。

(2)数据的符号与数据一样参加运算。

(3)求差时将负减数求补,用求和代替求差,将减法运算转化为补码的加法运算。

(4)运算结果为补码。如果符号位为0,表明运算结果为正;如果符号位为1,则表明结果为负。

(5)符号位的进位为模值,应该去掉。

例如,设 $X=33$, $Y=45$,用补码求 $X+Y$ 和 $X-Y$ (设 X 、 Y 为8位)。

计算过程如下:

$$[X]_{\text{补}} = 00100001$$

$$[Y]_{\text{补}} = 00101101, [-Y]_{\text{补}} = 11010011$$

$$[X+Y]_{\text{补}} = [X]_{\text{补}} + [Y]_{\text{补}} = 01001110$$

$$[X-Y]_{\text{补}} = [X]_{\text{补}} + [-Y]_{\text{补}} = 11110100$$

3. 溢出判断

运算过程中,运算结果超出了数的表示范围的现象称为溢出。若运算结果为正,绝对值超过表示范围时,称为正溢;运算结果为负,绝对值超过表示范围时,称为负溢。

(1)对于加法,只有正数加正数和负数加负数两种情况下才会产生溢出,符号不同的两个数相加不会产生溢出。

(2)对于减法,只有正数减负数和负数减正数两种情况下才会产生溢出,符号相同的两个数相减不会产生溢出。

因此,在判断溢出时,可以根据参加运算的两个数据和结果的符号进行。判断溢出常采用的方法之一是用双符号位进行运算。

从上述补码运算规则和举例可看出,用补码表示计算机中的有符号数优点明显。第一,负数的补码对应正数的补码之间的转换可用同一方法——求补运算实现,因而可简化硬件;第二,可将减法变为加法运算,从而省去减法器电路;第三,有符号数和无符号数的加法运算可用同一加法器电路完成,结果都是正确的。

1.4.2 逻辑运算

计算机的逻辑运算主要是与、或、非、异或等运算。

1. “与”运算(AND)

“与”运算又称逻辑乘,用符号“ $\cdot$ ”或“ $\wedge$ ”来表示。运算规则如下:

$$0 \wedge 0 = 0 \quad 0 \wedge 1 = 0 \quad 1 \wedge 0 = 0 \quad 1 \wedge 1 = 1$$

即当两个参与运算的数中有一个数为0,则运算结果为0,都为1结果为1。

2. “或”运算(OR)

“或”运算又称逻辑加,用符号“+”或“ $\vee$ ”表示。运算规则如下:

$$0 \vee 0 = 0 \quad 0 \vee 1 = 1 \quad 1 \vee 0 = 1 \quad 1 \vee 1 = 1$$

即当两个参与运算的数中有一个数为1,则运算结果为1,都为0结果为0。

3. “非”运算(NOT)

非运算 NOT 由符号“ $\sim$ ”表示。如果数值为1,则它的非运算结果为0;如果数值为0,则它的非运算结果为1。

4. “异或”运算(XOR)

异或运算通常用符号“ $\oplus$ ”表示。“异或”运算的规则如下:

$$0 \oplus 0 = 0 \quad 0 \oplus 1 = 1 \quad 1 \oplus 0 = 1 \quad 1 \oplus 1 = 0$$

即当两个参与运算的数取值相异时,运算结果为1,否则为0。

1.4.3 移位运算

移位运算包含有逻辑移位、算术移位和循环移位3种类型。

1. 逻辑移位运算

1) 逻辑左移

逻辑左移是把数据向左逐位移动N次,每次逐位移动后,最低位用0来补充,最高位丢失。例如:

11110000 逻辑左移1次(N=1)后,结果为:11100000。

2) 逻辑右移

逻辑右移是把数据向右逐位移动N次,每次逐位移动后,最高位用0来补充,最低位丢失。例如:

11110000 逻辑右移1次(N=1)后,结果为:01111000。

2. 算术移位运算

1) 算术左移

算术左移是把数据向左逐位移动N次,每次逐位移动后,最高位还用原来的符号位来补充,最低位用0来补充。例如:

11110000 算术左移1次(N=1)后,结果为:11100000。

2) 算术右移

算术右移是把数据向右逐位移动N次,每次逐位移动后,最高位还用原来的符号位来补充,最低位丢失。例如:

11110000 算术右移1次(N=1)后,结果为:11111000。

3. 循环移位运算

1) 循环左移

循环左移是把指定的寄存器或存储器操作数向左循环移动所指定的次数,每左移一次,把最高位移入操作数最低位。例如:

11110000 循环左移1次(N=1)后,结果为:11100001。

2) 循环右移

循环右移是把指定的寄存器或存储器操作数向右循环移动所指定的次数,每右移一次,把最低位移入操作数最高位。例如:

11110000 循环右移 1 次($N=1$)后,结果为:01111000。

本章小结

本章介绍了计算机的基础知识,包括计算机的发展过程、计算机的应用领域和性能指标、计算机系统的组成、不同进制之间数据转换、数据在计算机中的表示以及算术逻辑运算等知识。

本章重点是掌握计算机硬件系统和软件系统的组成以及数制转换、数据在计算机中的表示等内容。学习过程中应注重基础知识的理解和掌握,为后续章节的学习打下基础。

习 题 1

1. 计算机的发展经历了几个时期? 每个时期的特点是什么?

2. 计算机的性能指标是什么?

3. 微型计算机的硬件组成有哪些?

4. 把下列二进制数转换为十进制数。

(1) 1001

(2) 10101001

(3) 1110001011

(4) 10111111

(5) 100000000011

(6) 101000111

5. 把下列十进制数转换为二进制数。

(1) 231

(2) 1765

(3) 505

(4) 639

(5) 1024

(6) 61

6. 把下列二进制数转换为八进制数和十六进制数。

(1) 10110111

(2) 110001

(3) 10110001

(4) 1111111111

(5) 10110000

(6) 100111.1101