

21 世纪计算机科学与技术系列教材

计算机组成原理

主 编 杨志敏 龚 蓬
副主编 崔广才 康钦马 许中卫

电子科技大学出版社

内 容 提 要

本书主要阐述计算机系统的组成及工作原理。教材从计算机发展与应用入门,以循序渐进的方式,全面、系统地介绍计算机系统的硬件结构功能及其原理。考虑到“计算机组成原理”课程的内容比较抽象,很多计算机专业本、专科学生和计算机技术人员难以接受,本教材采用图、文、表相结合的方式编写,使难以理解的抽象叙述尽量通俗易懂。

本教材讲授的是计算机组成的一般原理,不针对任何机型。经审定,本书可以作为高校计算机专业、非计算机专业本、专科学生教材,也可用作计算机培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理 / 杨志敏,龚蓬主编. —成都:电子科技大学出版社,2005.9

(21世纪计算机科学与技术系列教材)

ISBN 7-81094-875-X

I. 计… II. ①杨…②龚… III. 计算机体系结构—高等学校—教材 IV. TP303

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 075833 号

21 世纪计算机科学与技术系列教材

计算机组成原理

杨志敏 龚 蓬 主编

出 版 电子科技大学出版社(成都市建设北路二段四号 邮编 610054)
责任编辑 张致强
发 行 新华书店
印 刷 安徽蚌埠广达印务有限公司
开 本 787×1092 1/16 印张 13.5 字数 336 千字
版 次 2005 年 9 月第一版
印 次 2005 年 9 月第一次印刷
书 号 ISBN 7-81094-875-X / TP·466
印 数 1—5 000 册
定 价 21.00 元

编审说明

“计算机组成原理”是计算机科学与技术专业一门核心基础课,也是计算机专业学生必须掌握的专业基础知识。

“计算机组成原理”主要讲授计算机系统的组成和工作原理。本教材从计算机发展与应用开始入门,以循序渐进的方式,全面、系统地介绍了计算机系统的硬件结构、功能及其原理,内容包括计算机系统常用的进位制、编码、代码校验,计算机基本器件、运算方法与运算器、存储系统、指令系统、控制器、外部设备、总线技术、主机与外设的数据传送方式,计算机系统的软件支持。由于“计算机组成原理”讲授的内容比较抽象,常常使很多计算机专业学生和计算机技术人员难以接受。因而,我们这本教材采用图、文、表结合的方式编写,让难以理解的抽象叙述尽量通俗易懂。

本书内容共分10章,第1章讲授计算机发展概况,通过简要描述,让读者了解计算机系统的硬件和软件支持及其主要性能指标。第2章讲授计算机系统常用进位制、编码及代码校验。第3章讲授计算机基本器件,包括触发器、寄存器、编码器与译码器,运算方法与运算器结构与工作原理。第4章讲授运算器的结构、原理与运算方法。第5章讲授存储系统的存储器类型、结构、原理与基本操作。第6章讲授指令系统的结构及指令格式和寻址方式。第7章讲授控制器的组成原理、类型、功能、执行方式和控制方式。第8章介绍计算机外部设备:显示器、键盘、打印机、磁盘存储器、光盘存储器。第9章讲授总线的概念、结构与接口。第10章讲授主机与外设的数据传送方式,包括直接程序控制方式、程序中断方式、DMA方式和通道方式。

本教材讲授的是计算机组成的一般原理,不针对任何机型。经审定,本书可作为高等院校本、专科计算机科学与技术专业、非计算机专业教材,亦可作为广大计算机技术人员培训用书。

本书由杨志敏、龚蓬主编,由崔广才、康钦马、许中卫担任副主编,参编人员还有毕鲁雁、曹立军、孔红英。

限于编者水平及编写时间仓促,书中疏漏、错误之处,敬请广大读者不吝批评指正以便不断修订完善。

21 世纪计算机科学与技术系列教材
编审指导委员会
2005 年 9 月

目 录

第 1 章 计算机概论	(1)
1.1 计算机发展概况及应用	(1)
1.2 计算机系统的组成	(6)
1.3 计算机的主要性能指标	(10)
习题 1	(12)
第 2 章 常用进位制、编码及代码校验	(13)
2.1 进位制	(13)
2.2 进位制之间的转换	(15)
2.3 计算机的编码表示	(18)
2.4 字符和汉字的编码	(20)
2.5 数据代码校验	(24)
习题 2	(30)
第 3 章 计算机基本器件	(32)
3.1 触发器	(32)
3.2 寄存器	(40)
3.3 编码器与译码器	(47)
3.4 三态输出电路和总线结构	(49)
习题 3	(51)
第 4 章 运算方法和运算器	(52)
4.1 机器数的表示	(52)
4.2 定点数学运算	(57)
4.3 浮点数学运算	(69)
4.4 加法器	(73)
4.5 算术逻辑运算单元	(77)
4.6 运算器的内部总线结构	(81)
4.7 浮点运算器	(83)
习题 4	(86)
第 5 章 存储系统	(88)
5.1 存储器概述	(88)
5.2 主存储器的基础知识	(91)
5.3 半导体存储器	(94)
5.4 相联存储器	(96)
5.5 主存的多体组织	(97)
5.6 高速缓冲存储器	(102)

5.7 虚拟存储器	(104)
习题 5	(109)
第 6 章 指令系统	(110)
6.1 指令格式与寻址方式	(110)
6.2 16 位指令系统	(116)
习题 6	(135)
第 7 章 控制器	(136)
7.1 控制器和指令执行	(136)
7.2 组合逻辑控制器	(139)
7.3 PLA 控制器	(143)
7.4 微程序控制器	(145)
习题 7	(149)
第 8 章 外部设备	(150)
8.1 显示器	(150)
8.2 键 盘	(154)
8.3 打印机	(159)
8.4 磁盘存储器	(162)
8.5 光盘存储器	(164)
习题 8	(166)
第 9 章 总线技术	(167)
9.1 总线的概述	(167)
9.2 系统总线结构	(168)
9.3 设备总线	(174)
习题 9	(183)
第 10 章 主机与外设的数据传送方式	(184)
10.1 直接程序控制方式	(184)
10.2 程序中断方式	(188)
10.3 DMA 方式	(196)
10.4 通道方式	(204)
习题 10	(207)
主要参考文献	(208)

第 1 章 计算机概论

计算机是 20 世纪最重要的科学技术发明之一。它对人类社会的生产和生活都有着极其深刻的影响。它在程序的控制下能快速、高效地自动完成信息的处理、加工、存储或传送,因此,计算机提高了社会生产率,改善了人类生活。

在当今的信息社会中,计算机的影响更是遍及了人类社会的各个领域,其应用达到了“无孔不入”地步。计算机科学技术不仅发展成为一门先进的独立学科,而且提升为对人类的生产方式、生活方式及思维方式都产生极其深远影响的文化现象。由计算机技术和通信技术相结合而形成的信息技术是信息社会最重要的技术支柱,计算机文化(也称为信息文化)极大地推动了当代社会生产力的发展。

本章简要回顾了计算机的发展历史,概述了计算机的特点,介绍了计算机应用的初步知识和重要概念。

1.1 计算机发展概况及应用

1.1.1 发展概况

1.1.1.1 计算机的产生

1946 年 2 月,世界上第一台电子计算机在美国宾夕法尼亚大学问世,取名 ENIAC(即电子数字积分计算机的英文缩写)。这台计算机的研制历时长达 3 年,是美国军方为适应第二次世界大战对新式火炮的需求,由美国陆军阿伯丁弹道试验室出资 40 万美元,由宾夕法尼亚大学电气工程师埃克特和物理学家莫厅莱博士等人,在解决导弹试验中复杂的弹道计算问题的前提下研制成功的。该机重达 30 吨,功耗 150kW,占地 170m²,使用了 18 800 个电子管,其运算速度为 5 000 次/秒。按照设计者的初衷,从计算工具的意义讲,电子计算机 ENIAC 不过是人类传统计算工具(算盘、计算尺及机械计算机等)在历史新时期的替代物。

计算机 ENIAC 有一个很大的缺点是:它的存储容量小,只能存 20 个字长为 10 位的十进制数,所以只能用线路连接的方法来编排程序,每次解题都要依靠人工来改变接线,准备时间大大超过实际计算时间。

在研制 ENIAC 的同时,以美籍匈牙利数学家冯·诺依曼(John Von Neumann)为首的研制小组提出了“存储程序控制”的计算机结构。

冯·诺依曼机具有如下基本特点:

- (1) 计算机由运算器、存储器、控制器、输入设备和输出设备五大基本部件组成。
- (2) 计算机内部采用二进制来表示指令和数据。
- (3) 存储器线性编址,按址访问其单元,单元的位数固定。存储器用以存放指令和数据。
- (4) 指令在存储器中按其执行顺序存储。指令由操作码和地址码组成,由程序计数器指明将要执行的下一条指令的地址。

冯·诺依曼对计算机界的最大贡献在于“存储程序控制”概念的提出和实现,50 年来虽然计算

机的发展是惊人的,但就其结构原理来说,目前绝大多数计算机仍建立在存储程序概念的基础上,符合存储程序概念的计算机统称为冯·诺依曼型计算机。随着计算机技术的不断发展,目前已出现了一些突破冯·诺依曼结构的计算机,统称为非冯结构计算机。如数据驱动的数据流计算机,需求驱动的归约计算机和模式匹配驱动的智能计算机等。

电子计算机的问世,开创了一个新时代——计算机时代,引发了一场由工业化社会发展到信息化社会的新技术产业革命浪潮,从此揭开了人类历史发展的新纪元。计算机问世以后,经过半个多世纪的飞速发展,已由早期单纯的计算工具发展成为在信息社会中举足轻重、不可缺少的、具有强大信息处理功能的现代化电子设备。

1.1.1.2 计算机的分代

计算机发展的分代史,通常以计算机所采用的逻辑元件作为划分标准。计算机的发展迄今为止已经历四代,正向新一代计算机过渡。

1. 第一代电子计算机(1946~1956 年)

采用电子管作为基本逻辑元件。存储器早期采用水银延迟线,后期采用磁鼓或磁芯。编程语言使用低级语言,即机器语言或汇编语言。第一种高级语言 FORTRAN 于 1954 年问世,并开始初期应用。

由于采用电子管,第一代计算机的体积大、耗电多、价格贵,运行速度和可靠性都不高,主要用于科学计算。这个时期计算机的商品化是由美国国际商业机器公司(IBM 公司)实现的,以 IBM 系列机为代表。

2. 第二代电子计算机(1957~1964 年)

开始采用晶体管作为逻辑元件。晶体管与电子管相比,具有体积小、寿命长、开关速度快、省电等优点。内存主要采用磁芯存储器,外存开始使用磁盘。这个时期,计算机的软件也有很大发展,操作系统及各种早期的高级语言(COBOL、FORTRAN、BASIC 等)相继投入使用。

由于采用了晶体管,第二代计算机的体积大大缩小,运算速度及可靠性等各项性能大为提高。计算机的应用已由科学计算拓展到数据处理、过程控制等领域。

3. 第三代电子计算机(1965~1970 年)

开始采用集成电路作为逻辑元件。半导体存储器取代了沿用多年的磁芯存储器。这一时期的中、小规模集成电路技术,可将数十个、成百个分离的电子元件集中做在一块硅片上。集成电路体积更小,耗电更少,寿命更长,可靠性更高,这使得第三代计算机的总体性能较第二代计算机有了大幅度的提高。计算机的设计出现了标准化、通用化、系列化的局面。软件技术也日趋完善,计算机得到了更加广泛的应用。

4. 第四代电子计算机(1970 年以后)

开始采用大规模集成电路作为逻辑元件是第四代计算机的主要特征。这个时期是计算机发展最快、技术成果最多、应用空前普及的时期。大规模集成电路技术的应用,不仅极大地提高了电子元件的集成度,而且可将计算机最核心的部件运算器和控制器集中制作在一块小小的芯片上。在这样的技术背景下,第一代微处理器以及以它为核心的微型计算机在美国英特尔公司(INTEL 公司)问世。微型计算机的“异军突起”是计算机发展史上的重大事件。作为第四代计算机的一个机种,微型计算机以其机型小巧、使用方便、价格低廉、性能完善等特性赢得了广泛的应用。微型计算机本身的发展也极其迅猛,除了占主流地位的台式机外,单片机、便携式微型机(膝上机、笔记本电

脑等)、超级微型机(工作站等)都已取得长足进展,20世纪90年代涌现出的多媒体PC(PC即个人计算机,是微型机的一个大类)也日益普及。

第四代计算机发展的另一个方向是巨型化。由于多处理机结构和并行处理技术的采用,具有超强功能的巨型机也取得稳步发展。例如,美国克雷公司生产的Gray-4巨型机共采用了64个处理器。巨型机主要用于高科技军事领域,在空间技术、气象预报、地球物理勘探等领域也有重要应用。我国在不到20年的时间内也先后研制成功了银河系列的三代巨型机(银河-I、银河-II和银河-III),从而进入世界上少数能研制巨型机的国家的行列。

第四代计算机在运算速度、存储容量、可靠性及性能价格比等诸多方面技术性能都是前三代计算机所不能企及的,这个时期计算机软件的配置也空前丰富,操作系统日臻成熟,数据管理系统普遍使用,新一代计算机语言C++及Java等问世,软件工程已成为社会经济的重要产业。计算机的发展呈现出多极化、网络化、多媒体、智能化的趋势。计算机的应用进入了以网络化为特征的时代。

本书重点介绍的微型计算机便是第四代计算机的典型代表。

5. 新一代计算机

新一代计算机过去习惯上称为第五代计算机,是对第四代计算机以后的各种未来型计算机的总称。电子计算机从第一代到第四代,尽管发展速度令人眩目,但其基本的设计思想和工作方式仍一脉相承,即采用冯·诺依曼的“存储程序原理”。从本质上讲,计算机尽管被称为“电脑”,但仅是一种机器,没有思维,不具有智能,它只能在人们事先设计好的程序的控制下工作,只能部分地、有限地模仿人的智能。而新一代计算机在这方面有重大突破,它能够最大限度地模拟人类大脑的机制,具有人类大脑所特有的联想、推理、学习等某些功能,具有对语言、声音、图像及各种模糊信息的感知、识别和处理能力。新一代计算机是从20世纪80年代开始研制的对未来型计算机的发展蓝图,现已提出智能计算机、神经网络计算机、生物计算机及光子计算机等各种设想和描述,在实际研制过程中也取得一些重要进展。新一代计算机的发展前景极其诱人,但不难想像,具有上述功能的未来型计算机的研制是非常困难的,因为这项工作在某项意义上来讲是对人类自身智能的挑战。新一代计算机何日能问世?虽然不是“指日可待”,但是前景依然是可以期待的!未来的第五代计算机的研制成功将是计算机科学技术的一项突破性的贡献,有人称它是“第二次计算机革命”。

综合看来,计算机的发展将有以下趋势:

微型化——便携式、低功耗。

巨型化——尖端科技领域的信息处理,需要超大容量、高速度。

智能化——模拟人类大脑思维和交流方式,多种处理能力。

系列化、标准化——便于各种计算机硬、软件兼容和升级。

网络化——网络计算机和信息高速公路。

多机系统——大型设备、生产流水线集中管理(独立控制、故障分散、资源共享)。

1.1.2 计算机的应用

正是由于计算机的高速发展,才促进了计算机的全面应用。在信息社会中,计算机的应用极其广泛,已遍及经济、政治、军事及社会生活的各个领域。计算机的早期应用和现代应用可归纳为以下几个方面:

1.1.2.1 科学计算

把科学技术及工程设计应用中的各种数学问题的计算,统称为科学计算。它不仅能减轻繁杂

的计算工作量,而且解决了过去无法解决或不能及时解决的问题。

科学计算又称为数值计算,是计算机的传统应用领域。在科学研究和工程技术中,有大量的复杂计算问题,利用计算机高速运算和大容量存储的能力,可进行浩繁而复杂、人工难以完成或根本无法完成的各种数值计算。例如,有数百个变元的高阶线性方程组的求解,宇宙飞船运动轨迹和气动干扰问题的计算;人造卫星和洲际导弹发射后,正确制导入轨的计算;天文测量和天气预报计算;在现代工程中,电站、桥梁、水坝、隧道等最佳设计方案的选择。还有一个著名的例子是圆周率 π 值的计算。20世纪一位外国数学家把圆周率 π 的计算到小数点后面707位,共花了15年的时间,而1984年,一位日本人用计算机将 π 值计算到1000万位,只用了24个小时。尤为惊人的是,最近在国外有人竟然宣称,他在用计算机计算 π 值时,发现在小数点后面从某一位起出现了循环节,如果这个结论成立,意味着推翻了 π 是无理数这一千古定论。这一成果的真伪姑且不论,至少从某个侧面反映出计算机在科学计算应用中的巨大威力。科学计算是计算机成熟的应用领域,由大量经过“千锤百炼”、精益求精的实用计算程序组成的软件包早已商品化,成为计算机应用软件的一部分。

1.1.2.2 数据处理

对数据进行加工、分析、传送、存储及检测与操作都称为数据处理。数据处理又称为信息处理,是目前计算机应用的主要领域。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。

信息社会的一个重要特点是信息密集,有人曾用“知识爆炸”一词来形容知识更新的速度和信息量的庞大。在信息社会中需要对大量的、以各种形式表示的信息资源(如数值、文字、声音、图像等)进行处理,计算机因其具备的种种特点,自然成为处理信息的得力工具。所谓数据处理是指用计算机对原始数据进行收集、存储、分类、加工、输出等处理过程。数据处理是现代管理的基础,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。数据处理的应用已全面深入到当今社会生产和生活的各个领域。

1.1.2.3 过程控制

过程控制也称为实时控制,是指用计算机作为控制部件对单台设备或整个生产过程进行控制。其基本原理为:将实时采集的数据送入计算机内与控制模型进行比较,然后再由计算机反馈信息去调节及控制整个生产过程,使之按最优化方案进行。用计算机进行控制,可以大大提高自动化水平,减轻劳动强度,增强控制的准确性,提高劳动生产率,因此,在工业生产的各个行业及现代化战争的武器系统中都得到广泛应用。

1.1.2.4 计算机辅助系统

计算机辅助系统是指能够部分或全部代替人完成各项工作(如设计、制造及教学等)的计算机应用系统,目前主要包括:计算机辅助设计(CAD, Computer Aided Design)、计算机辅助制造(CAM, Computer Aided Manufacturing)和计算机辅助教学(CAI, Computer Aided Instruction)。

CAD可以帮助设计人员进行工程或产品的设计工作,采用CAD能够提高设计工作的自动化程度,缩短设计周期,并达到最佳的设计效果。目前,CAD已广泛地应用于机械、电子、建筑、航空、服装、化工等行业,成为计算机应用最活跃的领域之一。

CAM是指用计算机来管理、计划和控制加工设备的操作(如用数控机床代替工人加工各种形状复杂的工件等)。采用CAM技术可以提高产品质量,缩短生产周期,提高生产率,降低劳动强度并改善生产人员的工作条件。CAD与CAM的结合产生了CAD/CAM一体化生产系统,再进一步发展,则形成计算机制造集成系统。

CAI 是指利用计算机来辅助教学工作。CAI 改变了传统的教学模式,更新了旧的教学方法。多媒体课件的使用,为学生创造了一个生动、形象、高效的全新学习环境,大大提高了学习效果。学生还可通过人一机对话方式把计算机作为自学和自我测试的工具。CAI 同时也改善了教师的工作条件,提高了教学效率,减轻了劳动强度,把教师从黑板前的粉尘中解放出来。CAI 与计算机管理教学(CMI)的结合,形成了计算机辅助教育(CAE)这一现代教育技术,计算机在教育领域将日益发挥更大的作用。

1.1.2.5 人工智能

人工智能是用计算机来模拟人的智能,代替人的部分脑力劳动。人工智能既是计算机当前的重要应用领域,也是今后计算机发展的主要方向。人工智能应用中所要研究和解决的问题难度很大,均是需要进行判断及推理的智能性问题,因此,人工智能是计算机在更高层次上的应用。尽管在这个领域中技术上的困难很多(如知识的表示、知识的处理等),目前仍取得了一些重要成果。

人和计算机究竟谁更聪明?国际象棋世界冠军卡斯帕罗夫(著名棋王,俄罗斯人)曾先后与 IBM 公司的两台超级计算机(专门为对付卡斯帕洛夫而研制,一台名为“深蓝”,另一台名为“更深的蓝”)进行过较量。第一次决战,卡斯帕洛夫获胜,第二次决战,卡氏败北。这一比赛成绩当然不能说明机器已达到世界冠军的智力水平,但却揭示出人工智能在计算机研究中的重大进展。人工智能有多方面的应用,以下是几个主要的方面:

机器人:机器人可分为两类:一类称为“工业机器人”,只能完成规定的重复动作,通常用在车间的生产流水线上,完成装配、焊接、喷漆等工作;另一类称为“智能机器人”,具有一定的感知和识别能力,能说一些简单话语,这类机器人可以从事更复杂的工作,如展览会迎宾、月球探测等。目前,世界上研制及使用机器人最多的国家是日本。

定理证明:借助计算机来证明数学猜想或定理,这是一项难度极大的人工智能应用。在这方面已取得一些成果。最著名的例子是四色猜想的证明。四色猜想是图论中的一个世界级的难题,它的内容是:任意一张地图只需用四种颜色来着色,就可以使地图上的相邻区域具有不同的颜色。换言之,用四种颜色就可绘制任何地图,三种颜色不够,而五种颜色多余。这个猜想的证明不知难倒了多少数学家,虽然经过无数次的验证,猜想的结论都是千真万确的,但却一直无法在理论上给予证明,所以有人认为,证明这个猜想的难度丝毫不亚于哥德巴赫猜想。1976年,美国数学家哈根和阿贝尔用计算机成功地证明了四色猜想。这个猜想的证明需要进行 100 亿次(10^{10} 次)逻辑判断,这个天文数字的工作量如果用人工来完成,则需 2 万年时间,这就是计算机问世以前,任何人都无法证明或推翻这个猜想的原因。1976 年以后,“四色猜想”正式更名为“四色定理”。此外,平面几何中某些类别的定理也用计算机程序进行了成功的证明。例如,中国科学院成都计算机应用所的张景中教授在用计算机证明平面几何定理的研究中取得了杰出的成就。

模式识别:模式识别是通过抽取被识别对象的特征,与存放在计算机内的已知对象的特征进行比较及判别,从而得出结论的一种人工智能技术。其重点是图形识别及语言识别。如刑侦学中的指纹辨别、手写汉字的识别、语音识别都是模式识别的应用实例。

专家系统:专家系统是一种能够模仿专家的知识、经验、思想,代替专家进行推理和判断,并作出决策处理的人工智能软件。现在已有医疗专家系统等多种实用专家系统投入使用。人工智能除了上述的一些应用外,还包括自然语言处理、机器翻译、智能检索等方面的应用。

1.1.2.6 多媒体技术应用

随着电子技术特别是通信和计算机技术的发展,人们已经有能力把文本、音频、视频、动画、图

形和图像等各种媒体综合起来,构成一种全新的概念——“多媒体”(Multimedia)。在医疗、教育、商业、银行、保险、行政管理、军事、工业、广播和出版等领域中,多媒体的应用发展很快。随着网络技术的发展,计算机的应用进一步深入到社会的各行各业,通过高速信息网实现数据与信息的查询、高速通信服务(电子邮件、电视电话、电视会议、文档传输)、电子教育、电子娱乐、电子购物(通过网络选看商品、办理购物手续、质量投诉等)、远程医疗和会诊、交通信息管理等。计算机的应用将推动信息社会更快地向前发展。

1.1.2.7 计算机仿真

对各种类型系统的必要信息,建立数学模型或描述模型,并在计算机上加以体现和试验,从而达到分析、研究该系统的目的。系统评价、动态模拟。仿真的主要内容:离散事件系统仿真、一体化仿真、连续系统仿真、仿真语言等。仿真是工程设计、系统开发、自然科学、经济和社会问题研究以及进行训练等的有力手段。

1.2 计算机系统的组成

电子计算机是一种不需要人工直接干预,能够自动、高速、准确地对各种信息进行高速处理和存储的电子设备。电子计算机从总体上来说可以分为两大类:①电子模拟计算机;②电子数字计算机。

电子模拟计算机中处理的信息是在连续变化的物理量,运算的过程也是连续的。

电子数字计算机中处理的信息是在时间上离散的数字量,运算的过程是不连续的。

电子数字计算机的主要特点是:按位运算,并且不连续地跳动计算。模拟计算机的特点是:数值由连续量来表示,运算过程也是连续的。数字计算机与模拟计算机的主要区别见表 1-1:

表 1-1 数字计算机与模拟计算机的主要区别

比较内容	数字计算机	模拟计算机
数据表示方式	数字 0 和 1	电压
计算方式	数字计算	电压组合和测量值
控制方式	程序控制	盘上连线
精度	高	低
数据存储量	大	小
逻辑判断能力	强	无

用模拟计算机解微分方程,能并行运算,比数字计算机速度快,但因其精度和通用性都差,所以常用来作特殊用途的计算机。本书以下所论述的计算机均指数字计算机。

完整的计算机系统包括两大部分,即硬件系统和软件系统。所谓硬件,是指构成计算机的物理设备,即由机械、电子器件构成的具有输入、存储、计算、控制和输出功能的实体部件。软件也称“软设备”,广义地说,软件是指系统中的程序以及开发、使用和维护程序所需的所有文档的集合。我们平时讲到“计算机”一词,都是指含有硬件和软件的计算机系统。计算机系统的组成如图 1-1 所示。

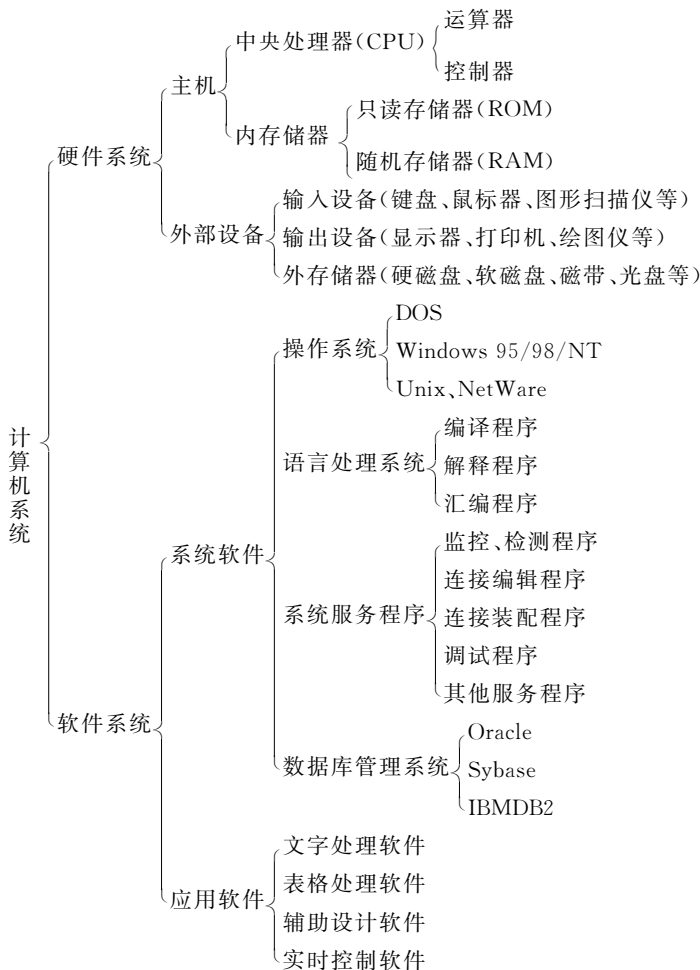


图 1-1 计算机系统的组成

下面我们介绍计算机系统的各部分组成。

1.2.1 计算机系统的硬件结构

从硬件体系结构来看,目前大多数计算机采用的基本上是计算机的经典结构——冯·诺依曼结构:计算机由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备五个基本部分组成,也称计算机的五大部件,其结构如图 1-2 所示。

1.2.1.1 运算器

运算器又称算术逻辑单元(Arithmetic Logic Unit,简称 ALU),是计算机对数据进行加工处理的部件,它的主要功能是对二进制数据进行加、减、乘、除等算术运算和与、或、非等基本逻辑运算,实现逻辑判断。运算器在控制器的控制下实现其功能,运算结果由控制器指挥送到内存存储器中。

1.2.1.2 控制器

控制器主要由指令寄存器、译码器、程序计数器和操作控制器等组成,控制器是用来控制计算

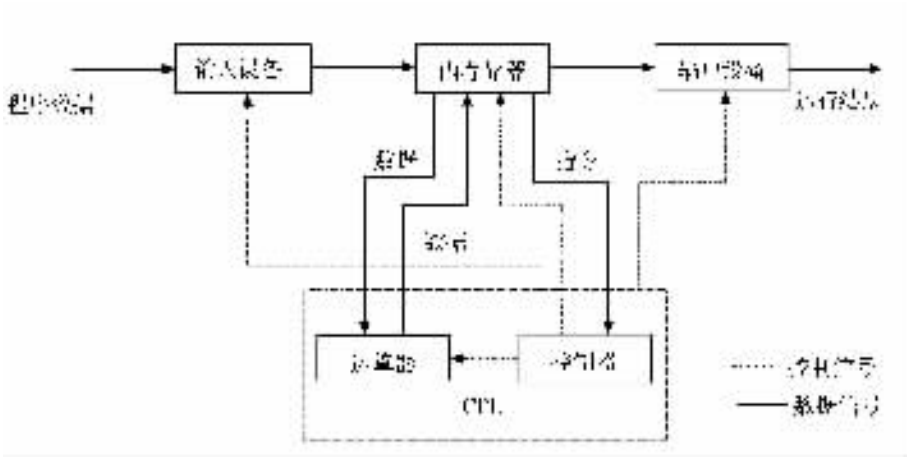


图 1-2 计算机的基本结构

机各部件协调工作,并使整个处理过程有条不紊地进行。它的基本功能就是从内存中取出指令和执行指令,即控制器按程序计数器指出的指令地址从内存中取出该指令进行译码,然后根据该指令功能向有关部件发出控制命令,执行该指令。另外,控制器在工作过程中还要接受各部件反馈回来的信息。

1.2.1.3 存储器

存储器具有记忆功能,用来保存信息,如数据、指令和运算结果等。

存储器可分为两种:内存储器与外存储器。

1. 内存储器(简称内存或主存)

存储器又叫内存或主存,是计算机的存储和记忆部件,用以存放数据(包括原始数据、中间结果和最终结果)和程序。计算机的内存都是半导体存储器。

(1) **内存单元的地址和内容**:内存中存放的数据和程序从形式上看都是二进制数。内存是由一个个内存单元组成的,每一个内存单元中一般存放一个字节(8位)的二进制信息。内存单元的总数目叫内存容量。

计算机通过给各个内存单元规定不同地址来管理内存。这样,CPU 便能识别不同的内存单元,正确地对它们进行操作。请注意:内存单元的地址和内存单元的内容是两个完全不同的概念。

(2) **内存操作**:CPU 对内存的操作有读、写两种。读操作是 CPU 将内存单元的内容取入 CPU 内部,而写操作是 CPU 将其内部信息传送到内存单元保存起来。显然,写操作的结果改变了被写单元的内容,而读操作则不改变被读单元中原有内容。

(3) **内存分类**:按工作方式不同,内存可分为两大类:随机存取存储器(RAM, Random Access Memory)和只读存储器(ROM, Read Only Memory)。RAM 可以被 CPU 随机地读和写,所以又称为读写存储器,这种存储器用于存放用户装入的程序、数据及部分系统信息,当机器断电后,所存信息消失。ROM 中的信息只能被 CPU 随机读取,而不能由 CPU 任意写入,机器断电,信息并不丢失。所以,这种存储器主要用来存放那些固定不变、不需修改的程序和数据,如:监控程序、基本 I/O 程序等标准子程序和有关计算机硬件的数据。ROM 中的内容是由生产厂家或用户使用专用设备写入固化的。

2. 外存储器(简称外存或辅存)

外存储器又称辅助存储器(简称辅存),它是内存的扩充。外存存储容量大,价格低,但存储速度较慢,一般用来存放大量暂时不用的程序、数据和中间结果,需要时,可成批地和内存存储器进行信息交换。外存只能与内存交换信息,不能被计算机系统的其他部件直接访问。常用的外存有磁盘、磁带、光盘等。

1.2.1.4 输入/输出设备

输入/输出设备简称 I/O (Input/Output) 设备。用户通过输入设备将程序和数据输入计算机,输出设备将计算机处理的结果(如数字、字母、符号和图形)显示或打印出来。常用的输入设备有:键盘、鼠标器、扫描仪、数字化仪等。常用的输出设备有:显示器、打印机、绘图仪等。

人们通常把内存存储器、运算器和控制器合称为计算机主机。而把运算器、控制器做在一个大规模集成电路块上,称为中央处理器,又称 CPU (Central Processing Unit)。也可以说,主机是由 CPU 与内存存储器组成的,而主机以外的装置称为外部设备,外部设备包括输入/输出设备,外存储器等。

1.2.2 计算机系统的软件支持

完整的计算机系统包括硬件和软件两大部分。除硬件外,还需要软件的支持。从狭义的角度上讲,软件是指计算机运行所需的各种程序;而从广义的角度上讲,还包括手册、说明书和有关的资料。软件系统看重解决如何管理和使用机器的问题。没有硬件,谈不上应用计算机。但是,光有硬件而没有软件,计算机也不能工作。这正如乐团和乐谱的关系一样,如果只有乐器、演奏员这类“硬件”而没有乐谱这类“软件”,乐团就很难演奏出动人的乐曲。所以,硬件和软件是相辅相成的,只有配上软件的计算机才成为完整的、可以正常工作的计算机系统。

我们通常把计算机软件分为“系统软件”和“应用软件”两大类,应用软件一般是指那些能直接帮助个人或单位完成具体工作的各种各样的软件,如文字处理软件、计算机辅助设计软件、企业事业单位的信息管理软件以及游戏软件等等。应用软件一般不能独立地在计算机上运行而必须有系统软件的支持。

系统软件的功能有实现计算机系统的管理、调度、监视和服务等,其目的是方便用户,提高计算机使用效率,扩充系统的功能,通常将系统软件分为以下六类:

(1)操作系统。操作系统是控制和管理计算机各种资料、自动调度用户作业程序,处理各种中断的软件。目前比较流行的操作系统有 DOS 操作系统、Unix 操作系统和 Windows 操作系统。

(2)语言处理程序。计算机能识别的语言与机器能直接执行的语言并不一致,计算机能识别的语言很多,如汇编语言、Basic 语言、Fortran 语言、C 语言等。它们各自都规定了一套基本符号和语法规则,用这些语言编制的程序叫源程序。用“0”和“1”的机器代码按一定规则组成的语言,称为机器语言。用机器语言编制的程序,称为目标程序。语言处理程序的任务,就是将源程序翻译成目标程序。不同语言的源程序,对应有不同的语言处理程序。

语言处理程序有汇编程序、编译程序、解释程序三种。

(3)标准程序库。为方便用户编制程序,通常将一些常用的程序按照标准的格式预先编制好,组成一个标准程序库,存入计算机系统中,需要时由用户选择合适的程序段嵌入自己的程序中,既省事,又可靠。

(4)服务性程序。服务性程序称工具软件,它扩大了机器的功能,一般包括诊断程序、调试程序等。

(5)数据库管理系统。数据库为了保证存储在其中的数据的安全和一致,必须有一组软件来完成相应的管理任务,这组软件就是数据库管理系统,简称 DBMS。

(6)计算机网络软件。网络软件对分布在不同地域的多台计算机进行管理,这就是网络软件的任务。网络的发展经历了从局域网到广域网再到 Internet 的发展阶段,相应地网络软件也得到了长足的发展和进步。

总之,软件系统是在硬件系统的基础上,为有效地使用计算机而配置的,没有系统软件,计算机系统无法正常地、有效地运行;没有应用软件,计算机就不能发挥效能。

1.3 计算机的主要性能指标

一般的计算机,衡量其性能优异程度的技术指标主要有以下几个方面:

1.3.1 字长

字长是计算机内部一次可以处理的二进制数码的位数。一般一台计算机的字长决定于它的通用寄存器、内存储器、ALU 的位数和数据总线的宽度。字长越长,一个字所能表示的数据精度就越高;在完成同样精度的运算时,字长越长,则数据处理速度越快。但是,字长越长,计算机的硬件代价相应也增大。为了兼顾精度/速度与硬件成本两方面,有些计算机允许采用变字长运算。

一般情况下,CPU 的内、外数据总线宽度是一致的。但有的 CPU 为了改进运算性能,加宽了 CPU 的内部总线宽度,致使内部字长和外部数据总线宽度不一致,如 Intel 8088/80188 的内部数据总线宽度为 16 位,外部为 8 位。对这类芯片,称之为“准 $\times\times$ 位”CPU,因此,Intel 8088/80188 被称为“准 16 位”CPU。

1.3.2 存储器容量

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。微型计算机中一般以字节 B (Byte 的缩写)为单位表示存储容量,并且将 1 024B 简称为 1KB,1 024KB 简称为 1MB (兆字节),1 024MB 简称为 1GB (吉字节),1 024GB 简称为 1TB (太字节)。目前市场上流行的 Pentium III/Pentium IV 微机大多具有 256~512MB 的内存容量和 40~120GB 的外容量。

1.3.3 主频

- 主频也叫做时钟频率,用来表示微处理器的运行速度,主频越高,表明微处理器运行越快,主频的单位是 MHz。

- 早期微处理器的主频与外部总线的频率相同,从 80486DX2 开始,主频 = 外部总线频率 \times 倍频系数。

- 外部总线频率通常简称为外频,它的单位也是 MHz,外频越高,说明微处理器与系统内存数据交换的速度越快,因而微型计算机的运行速度也越快。

- 倍频系数是微处理器的主频与外频之间的相对比例系数。

- 通过提高外频或倍频系数,可以使微处理器工作在比标准主频更高的时钟频率上,这就是所谓的超频。

1.3.4 MIPS

• MIPS 是 Millions of Instruction Per Second 的缩写,用来表示微处理器的性能,意思是每秒钟能执行多少百万条指令。

• 由于执行不同类型的指令所需时间长度不同,所以 MIPS 通常是根据不同指令出现的频度乘上不同的系数求得的统计平均值。

- 主频为 25MHz 的 80486 其性能大约是 20MIPS。
- 主频为 400MHz 的 Pentium II 的性能为 832 MIPS。

1.3.5 外设扩展能力

外设扩展能力主要指计算机系统配接各种外部设备的可能性、灵活性和适应性。一台计算机允许配接多少外部设备,对于系统接口和软件研制都有重大影响。在微型计算机系统中,打印机型号、显示器屏幕分辨率、外存储器容量等,都是外设配置中需要考虑的问题。

1.3.6 软件配置情况

软件是计算机系统必不可少的重要组成部分,它配置是否齐全,直接关系到计算机性能的好坏和效率的高低。例如是否有功能很强、能满足应用要求的操作系统和高级语言、汇编语言,是否有丰富的、可供选用的应用软件等,都是在购置计算机系统时需要考虑的。

最后,我们简单说一下计算机的分类:

(1)按计算机处理的信息分类。分为数字电子计算机和模拟电子计算机。数字电子计算机通过由数字逻辑电路组成的算术逻辑运算部件对数字量进行算术逻辑运算。模拟电子计算机通过由运算放大器构成的微分器、积分器以及函数运算器等运算部件对模拟量进行运算处理。

(2)按用途分类。分为通用计算机和专用计算机两大类。通用计算机是能解决多种类型问题,具有较强通用性的计算机。专用计算机是为解决某些特定问题而专门设计的计算机。

(3)按处理能力、运算速度、存储容量等指标分。

按照当前国内计算机界流行的分类方法,计算机可以分为:①巨型机;②大型机;③中型机;④小型机;⑤微型机。

按照国际上流行的分类方法,计算机可以划分为六大类:

① 大型主机。面向大、中型企事业单位,它包括通常所说的大型机和中型机。IBM 为大型主机的主要生产厂家,有 IBM360、370、4300 以及 9000 系列。

② 小型计算机。满足部门性的需求,为大、中企事业单位所用,如美国 DEC 公司的 UAX 系统,IBM 公司的 AS/400 系列等。我国生产的太极系列计算机属于小型机。

③ 个人计算机(PC机)。面向个人或家庭。

④ 工作站。它介于微型机与小型机的过渡机种,主要用于特殊的专业领域,如图像处理、CAD 等。

⑤ 巨型计算机。通常把最大、最快、最贵的主机称为巨型机。我国研制成功的银河 I、II、III 都是巨型机。

⑥ 小巨型机。对巨型机的高价格发出挑战。

习 题 1

1. 简述计算机的发展过程。
2. 简述计算机的应用领域。
3. 冯·诺依曼结构的主要特点是什么？
4. 计算机的硬件由哪些部件组成？它们各有哪些主要功能？
5. 计算机软件有哪些类型？
6. 计算机系统的主要技术指标有哪些内容？
7. 什么是内存？什么是外存？什么是 CPU？简述其功能。
8. 什么是存储容量？什么是单元地址？