

21世纪高等院校计算机教材系列

计算机组成原理

●黄成哲 安波 邢传军 等编著



购书可获得增值回报
提供教学用电子教案



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪高等院校计算机教材系列

计算机组成原理

黄成哲 安波 邢传军 等编著



机械工业出版社

“计算机组成原理”是计算机专业的必修课。编者在多年的教学实践基础上,按提出问题、分析问题和解决问题的思路,结合学生的实际情况编写了本书。本书详细介绍了有关计算机及其子系统设计实现的基本概念和相关知识。为帮助读者建立整机的概念,全书按照信息表示和处理、处理过程控制、信息的存储、信息的 I/O 处理的顺序编写,同时给出了相关的设计实例,并在附录中介绍了数字逻辑电路的相关知识。每章配有习题,以指导读者深入地学习。

本书内容适度、可读性好、适用性强,可作为高等学校计算机科学与技术、电子工程、信息系统等专业的教材,也适合计算机爱好者自学使用。

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理/黄成哲等编著. —北京:机械工业出版社, 2006.2
(21 世纪高等院校计算机教材系列)

ISBN 7-111-18456-4

I. 计... II. 黄... 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 (2006) 第 007033 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策 划: 胡毓坚

责任编辑: 罗子超

责任印制: 李 妍

保定市印刷厂印刷

2006 年 2 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16·21 印张·528 千字

0001—5000 册

定价: 29.00 元

凡购本图书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话: (010) 68326294

封面无防伪标均为盗版

出版说明

计算机技术是一门发展迅速的现代科学技术，它在经济建设与社会发展中，发挥着非常重要的作用。近年来，我国高等院校十分注重人才的培养，大力提倡素质教育、优化知识结构，提倡大学生必须掌握计算机应用技术。为了满足教育的需求，机械工业出版社组织了这套“21世纪高等院校计算机教材系列”。

在本套系列教材的组织编写过程中，我社聘请了各高等院校相关课程的主讲老师进行了充分的调研和细致的研讨，并针对非计算机专业的课程特点，根据自身的教学经验，总结出知识点、重点和难点，一并纳入到教材中。

本套系列教材定位准确，注重理论教学和实践教学相结合，逻辑性强、层次分明、叙述准确而精炼、图文并茂、习题丰富，非常适合各类高等院校、高等职业学校及相关院校的教学，也可作为各类培训班和自学用书。

参加编写本系列教材的院校包括：清华大学、西安交通大学、上海交通大学、北京交通大学、北京邮电大学、北京化工大学、北京科技大学、山东大学、首都经贸大学、河北大学等。

机械工业出版社

前 言

计算机组成原理是学习计算机工程和计算机专业基础知识的基础,计算机系统设计复杂性决定了本课程论述的复杂性和广泛性。本课程的先导课程是“数字逻辑”、“数字电路”和“汇编语言程序设计”。数字逻辑和数字电子电路知识是理解各部件工作原理及其逻辑实现的必备基础;汇编语言程序设计可使学生了解计算机的执行对象——程序,并知道如何使用程序来调度和管理各个部件和外围设备,以利于软、硬件相结合理解计算机的工作原理。本课程的后继课程是“微机接口技术及应用”、“计算机系统结构”以及其他专业分支课程,这些课程都是以本课程为基础的。

本书主要讲述计算机系统的内部工作机制和组成原理、知识和基本技巧,旨在使读者掌握计算机中各功能部件的工作原理、逻辑实现、设计方法及相互连接,为今后参加计算机系统的分析、设计、开发等工作打下坚实基础。

计算机系统由一组相关联的部件互联而成,为使读者建立整机的概念,理解计算机的工作过程,全书按照信息表示和处理、处理过程控制、信息的存储、信息的 I/O 处理的顺序编写。

第 1 章介绍计算机的基本组成、冯·诺依曼型计算机原理和计算机应用领域、发展与展望。第 2、3 章介绍数据信息的表示和处理,以及相应处理功能的实现方法。第 4 章介绍指令系统设计问题,包括指令的类型、寻址方式、格式以及指令的编码等问题。第 5、6 章详细介绍 CPU 的特性、功能、结构以及设计和实现。第 7、8 章介绍存储器系统各部分的工作原理、相互之间的协作、存储器系统的组织、输入输出系统的组成、数据输入输出的控制方式。附录中介绍基本逻辑门电路、组合逻辑器件和基本时序电路。每章后附有习题。

本课程建议授课学时为 40 学时,实验学时为 20 学时,并要求先学习 C 语言或 BASIC 语言。

本书的第 1、5 章由黄成哲编写,第 2 章、附录由安波编写,第 3、4 章由杨泽雪编写,第 6 章由邢传军编写,第 7 章由运海红编写,第 8 章由闵莉编写,最后由黄成哲统一定稿。本书的顺利出版,得到了许多专家的大力支持,同时也要感谢黑龙江工程学院的领导和老师给予的大力支持和帮助。

书中难免存在不妥之处,欢迎读者批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前言

第1章 绪论	1
1.1 计算机发展简史	1
1.2 计算机系统的层次结构	6
1.2.1 冯·诺依曼型计算机原理	6
1.2.2 非冯·诺依曼型计算机	8
1.2.3 计算机的层次结构	8
1.3 计算机组成原理研究的内容	10
1.3.1 计算机组织与计算机结构的区别	10
1.3.2 计算机组成原理课程研究的内容	11
1.3.3 计算机组成原理的学习方法	13
1.4 计算机的应用与发展趋势	14
1.4.1 计算机的应用	14
1.4.2 计算机的发展趋势	15
1.4.3 计算机系统的度量指标	16
1.5 小结	17
1.6 习题	17
第2章 数据信息表示	18
2.1 信息表示概述	18
2.2 数的符号表示	21
2.2.1 无符号数表示	21
2.2.2 有符号数表示	21
2.2.3 BCD 码	24
2.2.4 字符数据表示	26
2.3 浮点数表示	29
2.3.1 浮点数的基本表示形式	30
2.3.2 浮点数与定点数的比较	33
2.4 IEEE 754 标准	34
2.5 数据校验	35
2.5.1 奇偶校验码	36
2.5.2 海明校验	36
2.5.3 CRC 校验	39
2.6 小结	41
2.7 习题	41
第3章 运算单元设计	44
3.1 逻辑运算	44

3.1.1 基本逻辑运算	44
3.1.2 移位运算	45
3.2 定点数运算	48
3.2.1 加减法运算	48
3.2.2 乘法运算	52
3.2.3 除法运算	62
3.3 浮点数运算	69
3.3.1 加减法运算	70
3.3.2 乘除法运算	72
3.4 算术逻辑单元	75
3.4.1 并行加法器与快速进位链	75
3.4.2 ALU 单元	80
3.5 小结	81
3.6 习题	82
第 4 章 指令系统	85
4.1 计算机程序设计语言	85
4.1.1 计算机程序设计语言的类型	85
4.1.2 计算机程序的执行过程	87
4.2 机器语言指令	88
4.2.1 指令系统设计	88
4.2.2 机器语言指令的一般格式	89
4.2.3 操作类型	92
4.2.4 数据类型	95
4.2.5 寻址方式	96
4.3 RISC 技术	103
4.3.1 RISC 原理	103
4.3.2 RISC 特点	105
4.3.3 RISC 与 CISC 的比较	105
4.4 8085 指令系统	106
4.4.1 8085 微处理器的寄存器组	106
4.4.2 8085 微处理器指令集	107
4.4.3 一个简单的 8085 程序	110
4.5 小结	111
4.6 习题	111
第 5 章 CPU 的结构	114
5.1 CPU 的组成	114
5.1.1 CPU 的功能	114
5.1.2 CPU 的组成	115
5.1.3 CPU 内部数据通路	119
5.2 多级时序与时序系统	123
5.2.1 时序控制方式	124

5.2.2 指令周期与多级时序	125
5.2.3 8085 输出指令的时序	129
5.3 小结	130
5.4 习题	131
第 6 章 CPU 的设计	132
6.1 CPU 设计基本步骤	132
6.2 组合逻辑控制器设计	133
6.2.1 模型机基本设计	133
6.2.2 微操作节拍安排	134
6.2.3 模型机组合逻辑控制器设计	136
6.3 微程序控制器设计	139
6.3.1 微程序的基本原理	139
6.3.2 微程序控制器的基本结构	140
6.3.3 微指令格式设计	141
6.3.4 模型机微程序设计	145
6.3.5 Pentium 微处理器	151
6.4 流水线技术	152
6.4.1 指令流水线原理	152
6.4.2 流水线的性能	155
6.4.3 流水线中的多发技术	160
6.5 小结	164
6.6 习题	165
第 7 章 存储器系统	168
7.1 存储器系统概述	168
7.1.1 存储器的分类	168
7.1.2 存储器的结构	170
7.1.3 程序访问局部性原理	170
7.1.4 存储器的层次结构	171
7.2 主存储器	173
7.2.1 主存储器的技术指标	173
7.2.2 计算机内部存储部件	174
7.2.3 随机读写存储器	177
7.2.4 只读存储器	184
7.2.5 主存储器的组织	189
7.3 新型存储器	197
7.3.1 闪速存储器	197
7.3.2 双端口存储器	199
7.3.3 多模块交叉存储器	199
7.3.4 相联存储器	201
7.3.5 其他新型存储器	202
7.4 高速缓冲存储器	203

7.4.1	高速缓冲存储器组织	203
7.4.2	高速缓冲存储器调度与替换	206
7.5	辅助存储器	210
7.5.1	磁记录原理与记录方式	210
7.5.2	硬盘存储器	214
7.5.3	软磁盘存储器	221
7.5.4	磁带存储器	224
7.5.5	光存储器	226
7.6	小结	228
7.7	习题	229
第8章	输入/输出系统	231
8.1	外部设备	231
8.1.1	外部设备的分类	231
8.1.2	人机界面技术的发展	232
8.1.3	输入设备	233
8.1.4	输出设备	239
8.1.5	其他外部设备	251
8.1.6	多媒体技术	255
8.2	系统总线	258
8.2.1	总线的基本概念和分类	258
8.2.2	总线的特性	259
8.2.3	总线的标准化	261
8.2.4	总线的连接方式	264
8.2.5	总线控制	268
8.2.6	总线通信控制	270
8.2.7	总线上信息的传送方式	273
8.3	I/O 接口	274
8.3.1	接口的基本概念	274
8.3.2	CPU 与外部设备交换的信息	274
8.3.3	接口的功能	275
8.3.4	I/O 接口的基本结构	275
8.3.5	I/O 设备的编址方式	276
8.3.6	输入/输出控制方式	277
8.4	程序直接控制方式	277
8.4.1	无条件传送方式	277
8.4.2	条件传送方式	278
8.5	程序中断方式	280
8.5.1	中断的基本概念	280
8.5.2	中断的分类	281
8.5.3	中断的处理过程	281
8.5.4	程序中断方式的接口电路和 I/O 中断的处理过程	286
8.6	DMA 方式	287

8.6.1	DMA 方式的基本概念	287
8.6.2	DMA 传送方式	288
8.6.3	基本的 DMA 控制器功能及组成	290
8.6.4	DMA 的工作过程	291
8.6.5	DMA 控制器与系统的连接方式	292
8.6.6	选择型和多路型 DMA 控制器	293
8.6.7	DMA 小结	295
8.7	通道方式	295
8.7.1	基本概念	295
8.7.2	通道功能	296
8.7.3	通道操作的过程	297
8.7.4	通道类型	297
8.7.5	通道指令与通道程序	299
8.7.6	通道结构的发展	301
8.8	习题	302
附录		304
附录 A	基本逻辑门电路	304
附录 B	组合逻辑器件	304
附录 C	基本时序电路	309
部分习题解答与提示		311
参考文献		323

第1章 绪 论

1.1 计算机发展简史

电子计算机的发展,如果从第一台计算机的问世算起,到现在才 50 余年。在人类科技史上还没有一种学科可以与电子计算机的发展速度相提并论。

20 世纪 40 年代,无线电技术和无线电工业的发展为电子计算机的研制提供了物质基础,1943 年~1946 年美国宾夕法尼亚大学研制的电子数字积分与计算机(Electronic Numerical Integrator And Computer, ENIAC)是世界上第一台电子计算机。当时第二次世界大战正在进行,为了进行新武器的弹道问题中许多复杂的计算,美国国防部资助开展了计算机研究工作,ENIAC 于 1945 年年底完成,1946 年 2 月正式交付使用,因为它是最早问世的一台电子数字计算机,所以一般人认为它是现代计算机的始祖。

ENIAC 共用 18 000 多个电子管,1500 个继电器,重达 30 t,占地 170 m²,功率为 140 kW,每秒钟能计算 5000 次加法,领导研制的是埃克特(J. P. Eckert)和莫克利(J. W. Mauchly)。ENIAC 存在两个主要缺点,一是存储容量太小,只能存 20 个字长为 10 位的十进制数;二是用线路连接的方法来编排程序,因此每次解题都要依靠人工改接连线,准备时间大大超过实际计算时间。

与 ENIAC 研制的同时,冯·诺依曼(Von Neumann)与莫尔小组合作研制的电子数据计算机(Electronic Discrete Variable Automatic Computer, EDVAC),采用了存储程序方案,其后开发的计算机都采用这种方式,称为冯·诺依曼型计算机。一般认为冯·诺依曼型计算机具有如下基本特点。

- (1) 计算机由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备 5 部分组成。
- (2) 采用存储程序的方式,程序和数据存放在同一个存储器中,指令和数据一样可以送到运算器运算,即由指令组成的程序是可以修改的。
- (3) 数据以二进制码表示。
- (4) 指令由操作码和地址码组成。
- (5) 指令在存储器中按执行顺序存放,由指令计数器(即程序计数器 PC)指明要执行的指令所在的单元地址,一般按顺序递增,但可按运算结果或外界条件改变。
- (6) 机器以运算器为中心,输入输出设备与存储器间的数据传送都通过运算器。

50 多年来,随着技术的发展和 new 应用领域的开拓,冯·诺依曼型计算机经历了很多次改革,计算机系统结构有了很大发展,如某些计算机程序与数据分开存放在不同的存储器中,程序不允许修改,计算机不再以运算器为中心,而是以存储器为中心等。虽然有以上这些突破,但原则变化不大,习惯上仍称之为冯·诺依曼型计算机。

50 年来根据电子计算机所采用的物理器件的发展,一般把电子计算机的发展分成 4 个阶段,习惯上称为 4 代。相邻两代计算机之间时间有重叠。

第1代:电子管计算机时代(从1946年第一台计算机研制成功到20世纪50年代后期),其主要特点是采用电子管作为基本器件。在这一时期,主要为军事与国防尖端技术的需要而研制计算机,并进行有关的研究工作,为计算机技术的发展奠定了基础,其研究成果扩展到民用,又转为工业产品,形成了计算机工业。

20世纪50年代中期,美国IBM公司在计算机行业中崛起,1954年12月推出的IBM 650(小型机)是第一代计算机中畅销最广的产品,销售量超过1000台。1958年11月问世的IBM 709(大型机)是IBM公司性能最高的最后一台电子管计算机产品。

第2代:晶体管计算机时代(从20世纪50年代中期到60年代后期),这个时期计算机的主要器件逐步由电子管改为晶体管,因而缩小了体积,降低了功耗,提高了速度和可靠性,而且价格不断下降。后来又采用了磁芯存储器,使速度得到进一步提高。计算机不仅在军事与尖端技术上的应用范围进一步扩大,而且在气象、工程设计、数据处理以及其他科学研究领域内也应用起来。在这一时期开始重视计算机产品的继承性,形成了适应一定应用范围的计算机“族”,这是系列化思想的萌芽。从而缩短了新机器的研制周期,降低了生产成本,实现了程序兼容,方便了新机器的使用。

1960年控制数据公司(CDC)研制高速大型计算机系统CDC 6600,于1964年完成,取得了巨大成功,深受美国和西欧各国原子能、航空与宇航、气象研究机构及大学的欢迎,使该公司在研究和生产科学计算高速大型机方面处于领先地位。1969年1月,水平更高的超大型机CDC 7600研制成功,平均速度达到每秒千万次浮点运算,成为20世纪60年代末、70年代初性能最高的计算机。

第3代:集成电路计算机时代(从20世纪60年代中期到70年代前期),这个时期的计算机采用集成电路作为基本器件,因此功耗、体积、价格等进一步下降,而速度及可靠性相应地提高,这就促使了计算机的应用范围进一步扩大。正是由于集成电路成本的迅速下降,产生了成本低而功能不是太强的小型计算机供应市场,占领了许多数据处理的应用领域。

IBM 360系统是最早采用集成电路的通用计算机,也是影响最大的第3代计算机。在1964年发布IBM 360系统时就有大、中、小型等6个计算机型号,平均运算速度从每秒几千次到一百万次,它的主要特点是通用化、系列化、标准化。

- 通用化:指令系统丰富,兼顾科学计算、数据处理、实时控制3个方面。
- 系列化:IBM 360各档机型采用相同的系统结构,即在指令系统、数据格式、字符编码、中断系统、控制方式、输入输出操作方式等方面保持统一,从而保证了程序兼容,当用户更新计算机时,原来在低档机上编写的程序不作修改就可以在高档机中使用。IBM 360系统陆续增加的几种型号仍保持与前面的产品兼容。后来,西欧各国与日本的一些通用计算机也保持与IBM 360系统兼容。前苏联和东欧国家联合制造的“统一系统”也是与IBM 360系统兼容的。
- 标准化:采用标准的输入输出接口,因而各个机型的外部设备是通用的。采用积木式结构设计,除了各个型号的CPU独立设计以外,存储器、外部设备都采用标准部件组装。

第4代:大规模集成电路计算机时代。20世纪70年代初,半导体存储器问世,迅速取代了磁芯存储器,并不断向大容量、高速度发展。此后,存储器芯片的集成度大体上每三年翻两番(1971年每个芯片1K位,至1984年达到每个芯片256K位,1992年16M位动态随机存储器芯片上市),这就是著名的摩尔定律。从1971年内含2300个晶体管的Intel 4004芯片问

世,到1999年包含了750万个晶体管的Pentium II处理器,都证实了摩尔定律的正确性。摩尔定律后来转述为微处理器的工作速度,在一定成本下,大体上也是每18个月翻一番。专家预计,芯片性能呈指数增长将在今后几年放缓,一般看法是摩尔定律能再适用10年左右。

随着大规模集成电路的迅速发展,计算机进入大发展时期,各种类型的计算机都得到了迅速发展,下面对各类计算机的情况作一简单介绍。

1. 大型机

大型机是反映各个时期先进计算技术的大型通用计算机,其中以IBM公司的大型机系列影响最大。从20世纪60年代到80年代,信息处理主要是以主机系统加终端为代表(即大型机)的集中式数据处理,60年代的IBM 360系统,70年代和80年代的IBM 370系统曾占据大型机的霸主地位。IBM公司为开发IBM 360系统软件耗费了巨大的人力和财力。据估计,IBM用户在应用程序和培训等方面耗费了2千亿美元,是硬件投资的3~5倍。如此丰富的软件不能抛弃,只能继承,这已成为用户与计算机厂家的共识,但也成了计算机发展的制约因素。因此,IBM 370系统在保持与360系统兼容的前提下进行了改进与提高,其主流产品有IBM 303X系列与IBM 4300系列,后者是该系列中的低档产品。

进入20世纪80年代以后,随着微机性能的极大提高和网络技术的普及,客户机/服务器(Client/Server)技术得以飞速发展并普及,曾一度使大型机的作用受到怀疑。

进入20世纪90年代后,随着企业规模的扩大与信息技术的发展,很多采用客户机/服务器的分散式运算模式的用户发现,这种系统的管理极为复杂,运算营运成本高,安全可靠难以保证。于是大型机获得东山再起的机会。企业需要一个开放的、安全的大型服务器作为计算平台,因为只有大型机才具有高可靠性、安全性、高吞吐能力、高可扩展性、防病毒以及防黑客的能力。与此同时,大型机的性能在不断提高,成本不断下降。90年代IBM公司推出的大型机系列为IBMS/390系列,并不断推出新产品,ES/9000即是S/390系列中的知名产品之一,1997年的主流产品是9672系列。到1997年6月推出的S/390第4代产品采用CMOS工艺(过去的大型机为寻求高速度而采用双极型晶体管工艺),从而减少了功耗,并提高了芯片的集成度。1998年5月S/390第5代产品问世,主机速度达到每秒10亿次。近年来S/390的销售量已连续3年以两位数字增长,取得显著成绩。

IBMS/390不仅仍保持与IBM 360、370兼容,还包含了许多新特点,如良好的开放性、并行计算环境等,被广泛用作企业服务器。

其他计算机厂家在发展新机型时也遵循兼容的原则。某些计算机厂家走上与IBM计算机兼容的道路,它们按IBM系列机的系统结构制造主机,并直接引用IBM计算机的软件,因而使产品的性能价格比优于IBM原装机,以争夺市场。这些主机被称为PCM: Plug Compatible Mainframe(插接兼容主机——硬件完全兼容)或Program Compatible Mainframe(程序兼容主机——软件兼容)。

2. 巨型机

现代科学技术,尤其是国防技术的发展,需要有很高运算速度、很大存储容量的计算机,一般的大型通用计算机不能满足要求。集成电路的发展,为制造巨型机提供了条件。从20世纪60年代到70年代相继出现了一些巨型机,其中取得最高成绩的要数Cray-1计算机。针对天气预报、飞行器的设计和核物理研究中存在大量向量运算的特点,Cray-1计算机的向量运算速度达每秒8000万次,并兼顾了一般的标量运算。1983年研制成功的Cray X-MP机向量运算

速度达每秒 4 亿次。与此同时, CDC 公司的 CYBER 203 和 205 先后完成, CYBER 205 每秒可进行 4 亿次浮点运算。这些是 20 世纪 80 年代初期水平最高的巨型机。但是这些成就还不能满足一些复杂问题的需要, 因此不少单位开展了性能更高的巨型机的研究工作。后来微处理器的发展为阵列结构的巨型机发展带来了希望。例如, 古德伊尔公司为美国宇航局(NASA)研制了一台处理卫星图像的计算机系统 MPP, 该机由 16 384 个微处理器组成 128×128 方阵。这种采用并行处理技术的多处理器系统是巨型机发展的一个重要方面, 称为小巨型机。

日本、英国、前苏联、法国也先后开始研制巨型机。

3. 小型机

小型机规模小、结构简单, 所以设计试制周期短, 便于及时采用先进工艺, 生产量大, 硬件成本低; 同时由于软件比大型机简单, 所以软件成本也低。再加上容易操作、容易维护和可靠性高等特点, 使得管理计算机和编制程序都比较简单, 因而得以迅速推广, 掀起一个计算机普及应用的浪潮。DEC 公司的 PDP-11 系列是 16 位小型机的代表, 到 20 世纪 70 年代中期 32 位高档小型机开始兴起, DEC 公司的 VAX-11/780 于 1978 年开始生产, 应用极为广泛。VAX-11 系列与 PDP-11 系列是兼容的。20 世纪 80 年代以后, 精简指令系统计算机问世, 导致小型机的性能大幅度提高。

小型机的出现打开了在控制领域应用计算机的局面, 许多大型分析仪器、测量仪器、医疗仪器使用小型机进行数据采集、整理、分析、计算等。应用于工业生产上的计算机除了进行上述工作外还可进行自动控制。

小型机不仅广泛应用于工程设计服务器结构中作为服务器, 还在信号处理、图像处理、企业管理以及在客户机/服务器结构中作为服务器等。

4. 微型机

微型机的出现与发展, 掀起计算机大普及的浪潮, 利用 4 位微处理器 Intel 4004 组成的 MCS-4 是世界上第一台微型机, 它于 1971 年问世。Intel 8086 是最早开发成功的 16 位微处理器(1978 年)。1981 年 32 位微处理器 Intel 80386 问世, 与原来的产品相比较, 除了提高主频速度外, 还将原属于芯片外的有关电路集成到芯片内了。

20 世纪 32 位微处理器采用过去大中型计算机中所采用的技术, 因此用它构成的微型机系统的性能可以达到 20 世纪 70 年代大中型计算机的水平。

20 世纪 70 年代后期, 兴起个人计算机(一种独立微型机系统)热潮。最早出现的是 Apple 公司的 Apple II 型微机(1977 年), 此后各种型号的个人计算机纷纷出现。1981 年一向以生产大中型通用机为主的 IBM 公司推出了 IBM PC, 该机采用 Intel 80x86(当时为 8086)微处理器和 Microsoft 公司的 MS-DOS 操作系统, IBM 公司还发布了 IBM PC 的总线结构, 这些开放措施为微型计算机的大规模生产打下了基础, 后来又推出扩充了性能的 IBM PC/XT, IBM PC/AT 以及 386, 486 和 Pentium 等多种机型。由于具有设计先进、软件丰富、功能齐全、价格便宜和开放性等特点, 很快成为微型机市场的主流。国内外有不少厂家相继生产了与 IBM 兼容的个人计算机及配套的板级产品和外部设备。

微型机向小型化发展, 出现了便携机(膝上型、笔记本型和掌上型), 在 20 世纪 90 年代获得迅速发展。

与此同时, 个人计算机走向家庭, 并向多媒体方向发展, 这就是家用电脑和多媒体电脑。

5. 工程工作站

工程工作站是 20 世纪 80 年代兴起的面向广大工程技术人员的计算机系统,一般具有高分辨率显示器、交互式的用户界面和功能齐全的图形软件。它集中应用于各种工程方面的计算机辅助设计,如集成电路设计、机械设计、土木建筑设计等。1980 年成立的 Apollo 公司和 1982 年成立的 Sun 微系统公司主要从事工作站的研制与生产工作。开始都采用 Motorola 公司的微处理器芯片,后来改用 RISC 微处理器。

1987 年以后,工作站普遍采用 32 位/64 位 RISC 微处理器,不仅处理速度快,而且具有强大的图形处理功能和友好的窗口界面,后来又向多处理器系统和分布式处理系统发展。典型的产品有 Sun 公司的 SPARC 系列、DEC 公司的 Alpha 系列以及 SGI 公司和 HP 公司的工作站系列。

由于工程工作站出现得比较晚,因此一般都带有网络接口,并采用开放式系统结构,即将计算机的软、硬件接口公开,以鼓励其他厂商、用户围绕工作站开发软、硬件产品。同时尽量遵循国际工业界的标准。

6. 联机系统和计算机网络

由于计算机技术和通信技术的迅速发展,为适应高度社会化生产和科技发展的需要,出现了由单个计算中心通过通信线路和若干个远程终端连接起来的联机系统(或称为面向终端的网络)。例如,库存管理系统、生产管理系统、银行业务系统、飞机订票系统、情报检索系统、气象观测系统等,使分散在各处的信息通过终端能很快集中于计算机中,同时各处的工作人员可通过终端进行查询、获取资料。

20 世纪 70 年代,实现了计算机之间的通信,并共享资源的计算机网络迅速发展。著名的美国 ARPA 网诞生于 60 年代末,在 70 年代不断扩充网上结点,到 1975 年已连接 60 个以上的结点,100 多台主计算机。地理范围遍布全美并扩展到欧洲,与此同时其他网相继建成。由于这些网络跨越的地理范围比较宽阔,因而称为广域计算机网。1983 年在 APRA 网上开发了安装在 UNIX 操作系统上的 TCP/IP 协议,从而使该网络的应用和规模得到了进一步扩展。TCP/IP 协议适用于网间互联,因此 ARPA 网也由过去的单一网络发展成可连接多种不同网络的世界上最大的互联网——因特网(Internet)。同时一些主要计算机厂家为解决本公司生产的各种计算机之间和计算机与终端设备的联网问题,向用户提供相应的硬件(如通信接口板)和网络软件。

随着计算机的广泛应用,特别是小型机和微型机的普及,一个单位在一幢大楼或一个建筑群内安装多台计算机的情况日益普遍,将这些计算机连接在一起的网络称为局域网。

计算机网络的蓬勃发展,加速了社会信息化的进程。

上面讲到,根据所用器件的不同,电子计算机经历了 4 代的变革,但其基本思想一直遵循冯·诺依曼型计算机结构的原理。

计算机的发展促进了人工智能的发展,突破了冯·诺依曼结构的原理。

人工智能是研究解释和模拟人类智能行为及其规律的一门学科,其主要任务是建立智能信息处理理论,进而设计可以展现某些近似于人类智能行为的计算系统。它是计算机科学的一个分支,也被某些相关学科如心理学等所关注。

在人工智能的萌芽时期,有两种研究途径:一是根据神经心理学的研究,通过为神经活动建立数学模型来表现智能行为,这是微观研究的观点;二是从智能行为的角度来研究智能,而不介意这种行为的产生原因,这是行为研究的观点。后来的研究表明行为主义的智能观(或称符号机制)比较容易在计算机上实现。在此基础上进行了基于知识的应用系统研究,提出了专

家系统和知识工程,并总结出建造专家系统及开发环境的一系列原则,这些成果使人们看到了人工智能研究的实际意义。

20 世纪 80 年代出现的人工神经网络研究热潮,与行为主义的智能观结合并互为补充,推动了人工智能研究的进展。

随同计算机硬件发展的还有软件,应该指出,发挥计算机的作用、推广计算机的应用、改进计算机的设计以及简化计算机的操作,使它从只供专家使用转为面向大众,软件工作者起了决定性作用。

高级程序设计语言在第 2 代计算机时期趋向成熟并迅速普及。操作系统自动管理计算机系统中各个设备以及多个程序的高效运行,是第 3 代计算机时期的重大成就。以上这些软件属于系统软件。

广泛应用计算机的运算结果,在科学计算、数据处理、商业经营、经济管理、工业控制、工程设计等领域中开发出各自的程序,称为应用软件。计算机厂家向用户提供软件(系统软件和应用软件)时与硬件分别计价,并产生了专门从事软件研制、生产、销售工作的软件公司(例如美国的 Microsoft 公司)。但是软件的发展跟不上需要,软件费用急剧增长,这是因为硬件是工业化生产,价格不断下降,而软件为人工劳动,生产率低。一些科学家提出了软件工程的观念,对软件开发实行工程化管理,希望得到廉价、可靠、有效的软件。软件还具有容易复制的特点,软件成果容易被他人占有,因此影响了软件开发者进行软件开发及软件投入市场的积极性。为了保护软件不被剽窃,可以采取加密等技术以及低价销售、随硬件提供等经营措施。发挥一定的保护作用,而不能彻底解决问题,因此由国家来制定、实施对软件的保护法律是至关重要的。但是一个国家的法律只适用于国内,而软件很容易在国际间传播,因此国与国之间相互承担保护对方公民(和法人)软件的义务已成为各国之间经济合作关系的一个重要组成部分。

世界上科学技术发达的国家,十分重视鼓励创造性的脑力劳动,已经研究、制定并贯彻实施了专利法、版权法、商标法等一系列保护公民知识产权的法律。很多发展中国家也开始重视这项工作,正纷纷开展保护知识产权的立法工作。1991 年 5 月我国颁布了《计算机软件保护条例》。

1.2 计算机系统的层次结构

计算机作为一种高速、智能的计算工具,实际上是按照事先存储的程序,自动、高速地进行大量数值的计算和各种信息的处理。作为由一系列相关的电子设备组成的计算工具而言,计算机的历史已经有 50 多年了,发展经历了 4 个阶段,但是现在作为主流应用的计算机依然遵循着冯·诺依曼的基本原理,计算机系统也被组织成一个层次结构。

1.2.1 冯·诺依曼型计算机原理

1946 年 6 月,美国杰出的数学家冯·诺依曼及其同事完成了“关于电子计算装置逻辑结构设计”的研究报告,介绍了制造电子计算机和程序设计的新思想,为现代计算机的研制奠定了基础。至今为止,大多数计算机采用的依然是冯·诺依曼型计算机的组织机构,只是在某些方面做了一些改动。因此,冯·诺依曼被人们誉为“计算机之父”。冯·诺依曼型计算机一般满足以下 3 个基本原理。

1. 二进制原理

在冯·诺依曼型计算机中采用二进制码的形式表示指令和数据。数据和指令在代码的形式上并无区别,都是由 0 和 1 组成的代码序列形式,而且它们以相同的地位存储于存储器中,只是各自约定的含义不同。采用二进制的形式使信息数字化容易实现,可以采用布尔代数进行处理。程序本身也可以作为加工处理的对象,例如对照程序进行编译,就是将源程序作为加工处理的对象。

2. 程序存储原理

这是冯·诺依曼思想的核心内容,主要是将事先编写好的程序(包括指令和数据)存入主存储器中,计算机在运行程序时就能自动、连续地从存储器中依次取出指令并执行,不需要人工干预,直到程序执行结束为止。这是计算机能高速自动运行的基础。计算机的工作体现为执行程序,计算机功能的扩展在很大程度上体现为所存储程序的扩展,计算机的许多具体工作方式也是由此派生出来的。

冯·诺依曼型计算机的这种工作方式,可称为控制流(指令流)驱动方式。即按照指令的流程序列,依次读取指令,根据指令所含的控制信息,调用数据进行处理。因此,在执行程序的过程中,始终是以控制流来驱动工作,而数据信息流则是被动地被调用和处理。

为了控制指令序列的执行顺序,需设置一个程序(指令)计数器 PC(Program Counter),让它存放当前指令所在的存储单元的地址。如果程序现在是顺序执行的,每取出一条指令后 PC 内容加 1,指示下一条指令该从何处取得。如果程序将转移到某处,就将转移后的指令地址送到 PC,以便按新的地址读取后继指令。所以,PC 就像一个指针,一直指示着程序的执行进程,也就是指示控制流的形成。虽然程序与数据都采用二进制码,仍可按照 PC 的内容作为地址读取指令,再按照指令给出的操作数地址读取数据(操作数)。由于多数情况下程序是顺序执行的,所以大多数指令需要依次紧挨地存放,除了个别即将使用的数据可以紧挨着指令存放外,一般情况下将指令和数据分别存放在不同的区域。

3. 计算机由 5 个基本部件组成

冯·诺依曼型计算机都有 5 个基本的部件:运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备,并且 5 个基本部件由一定的数据通路连接到一起,同时规定了这 5 个部分的基本功能。

典型的冯·诺依曼型计算机是以运算器为核心的,如图 1-1 所示,图中实线为数据线,虚线为控制线和反馈线。

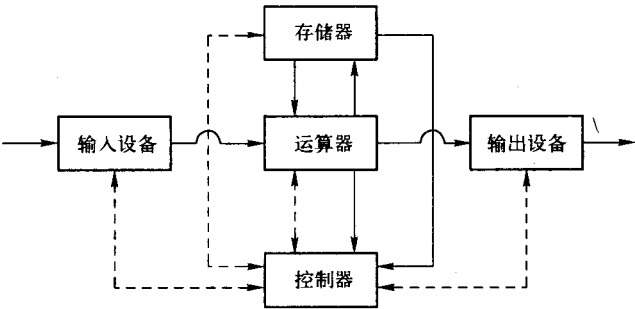


图 1-1 以运算器为核心的冯·诺依曼型计算机结构

图中各部件的功能如下。