



第 1 章 计算机概述

计算机是 20 世纪人类最伟大的发明之一,它给人类社会带来了巨大变化,在人们工作、学习和生活的各个方面发挥着越来越重要的作用,逐步改变了人们的生活和工作方式。本章主要介绍计算机的基本知识,探索和计算机直接相关的一些问题。

首先,从数学的角度定义计算机的两个重要模型:图灵模型和冯·诺依曼模型;其次,阐明当今的计算机是如何建立在冯·诺依曼模型基础上;最后,介绍计算机的发展、性能指标、特点、分类及应用等。

本章学习目标

- 了解计算机的基本概念。
- 定义计算机的图灵模型和冯·诺依曼模型。
- 理解计算机的工作过程和性能指标。
- 了解计算机的发展历程及发展趋势。
- 了解计算机的分类、特点和应用。

1.1 计算机模型

1.1.1 数据处理模型

数据处理模型是指把计算机定义为一个数据处理器,认为计算机是一个接收输入数据、处理数据,并产生输出数据的黑盒子,如图 1-1 所示。数据处理模型能够体现现代计算机数据处理的功能,但定义太过广泛,没有说明基于此模型的机器能够完成数据处理的类型和数量,更没有说明是专用机器还是通用机器。

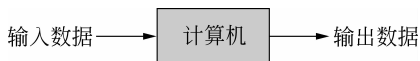


图 1-1 数据处理模型

1.1.2 图灵模型

阿兰·图灵在 1937 年首次提出通用计算设备的设想,即所有的计算都可以在一种特殊的机器(图灵机)上执行。图灵模型是一个适用于通用计算机的模型,如图 1-2 所示,它在数据处理模型的基础上增加了程序元素。程序是用来告诉计算机对数据进行处理的指令集合。

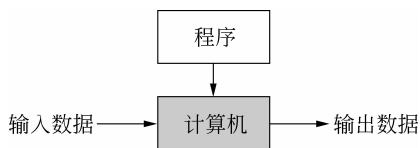


图 1-2 图灵模型

在图灵模型中,输入数据和程序共同决定输出

数据。对于相同的输入数据,改变程序,将产生不同的输出数据;对于相同的程序,改变输入数据,输出数据将不同;如果输入数据和程序都相同,输出数据将不变。通用图灵机是对现代计算机的首次描述,只要提供了合适的程序,通用图灵机就可以做任何运算。基于图灵模型建造的计算机在存储器中只存储数据,不存储程序,程序通过操作一系列开关或配线来实现。

1.1.3 冯·诺依曼模型

1944—1945年,冯·诺依曼首次指出,图灵模型中的数据和程序在逻辑上是相同的,因此程序应与数据一样,都能存储在计算机的存储器中。基于冯·诺依曼模型建造的计算机由4个部分组成:存储器、算术逻辑运算单元、控制单元和输入/输出单元,如图1-3所示。

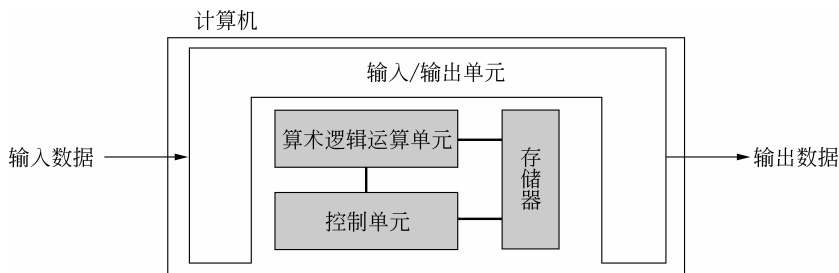


图 1-3 冯·诺依曼模型

算术逻辑运算单元用于算术运算和逻辑运算。控制单元用于控制存储器、算术逻辑运算单元、输入/输出单元等子系统,让它们协调地工作。存储器用于存储计算机处理过程中的数据和程序。对于输入/输出单元,输入子系统负责接收计算机外部的数据和程序,输出子系统负责将计算机处理后的结果输出到计算机外部。

与图灵模型不同,冯·诺依曼模型要求数据和程序都存储在存储器中,这意味着数据和程序应具有相同的格式。实际上,两者都是以二进制位(bit)的形式存储在存储器中。

冯·诺依曼模型清楚地将一台计算机定义为一台数据处理机,能接收输入数据,处理并输出相应的结果。今天的计算机硬件依然采用冯·诺依曼模型,并且包含四大部分,只是输入/输出系统有所不同。

1.2 计算机的发展

1.2.1 机械计算机器(1930 年以前)

这一时期的计算机与现代概念的计算机几乎没有相似之处,故称为计算机器。

1642年,法国著名数学家和物理学家布莱斯·帕斯卡发明了第一台机械式加法器Pascalsline,可用来进行加减运算。它解决了自动进位这一关键问题。

1674年,德国数学家戈特弗里德·威尔赫尔姆·莱布尼兹发明了莱布尼兹之轮,如图1-4所示。它是一台既能进行加减运算,也能进行乘除运算的计算机器。

在19世纪初期,约瑟夫-玛丽·雅卡尔发明了第一台利用存储和编程概念制造的提花织布机,利用穿孔卡(相当于存储程序)来控制织布过程中经线的提升。

1822年,英国数学家查尔斯·巴贝奇发明了差分机。它不仅能快速地进行简单的数学运算,还能解多项式方程。1834年,巴贝奇完成了分析机的设计,分析机不仅可以做数学运算,还可以做逻辑运算,在一定程度上与现代计算机的概念类似。差分机和分析机分别如图1-5和图1-6所示。

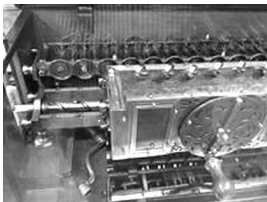


图 1-4 莱布尼兹之轮



图 1-5 差分机



图 1-6 分析机

1.2.2 电子计算机诞生(1930—1950 年)

1. 早期的电子计算机

在这一时期,计算机中的程序并不存储在存储器中,而是在计算机外部编程实现。其中比较杰出的代表有以下几种。

1939年,美国的约翰·阿塔纳索夫(John Atanasoff)及其助手克利福德·贝利(Clifford Berry)发明了世界上第一台应用电子管技术建造的完全电子化的计算机,称为Atanasoff-Berry计算机,如图1-7所示。它通过将信息进行电子编码来实现计算功能。

同一时期,德国数学家康拉康·朱斯研制出Z系列通用计算机。其中,Z-3型计算机是世界上第一台采用电磁继电器进行程序控制的通用自动计算机,如图1-8所示。

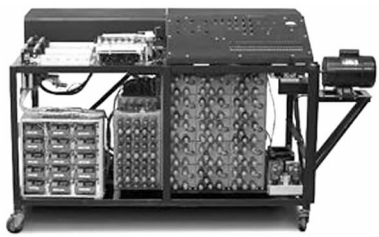


图 1-7 Atanasoff-Berry 计算机



图 1-8 Z-3 型计算机

1944年,美国哈佛大学科学家霍德华·艾肯成功研制名为MARK-I的巨型计算机。它是一种完全机电式的计算机,也是世界上最早的通用型自动机电式计算机之一。1947年,艾肯研制出运算速度更快的机电式计算机MARK-II。到1949年,由于当时电子管技术取得重大进步,艾肯研制出采用电子管的计算机MARK-III。MARK-I和MARK-III分别如图1-9和图1-10所示。



图 1-9 MARK-I



图 1-10 MARK-III

1946 年,世界上第一台通用电子数字计算机 ENIAC(electronic numerical integrator and calculator,电子数字积分器和计算器)由美国宾夕法尼亚大学的约翰·莫奇利和普雷斯波·埃克特研制成功。它共使用 18 000 个电子管、1500 个继电器及其他部件,有 100 英尺长、10 英尺高,重达 30 吨。ENIAC 如图 1-11 所示。

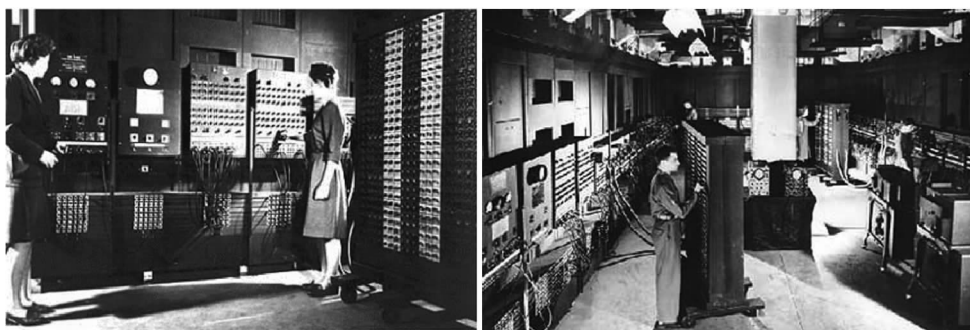


图 1-11 ENIAC

2. 基于冯·诺依曼模型的计算机

早期计算机的存储器仅存储数据,程序利用配线或开关在计算机外部实现。基于冯·诺依曼模型的计算机要求程序和数据都应存储在存储器中。按此方法,每次使用计算机来完成一项新任务,只需改变程序,不需重新布线或调节开关。

1950 年,第一台基于冯·诺依曼模型的计算机 EDVAC 在美国宾夕法尼亚大学诞生。与此同时,英国剑桥大学制造出相同类型的计算机 EDSAC。自此以后诞生的计算机基本都是基于冯·诺依曼模型。虽然计算机的速度更快,体积更小,性能更高,价格更低,但它们的原理几乎相同。

1.2.3 电子计算机的发展(1950 年至今)

电子数字计算机是一种不需要人的干预,能够自动连续地、快速地、准确地完成信息存储、数值计算、数据处理的过程控制等多种功能的电子机器。

自第一台电子数字计算机问世以来,计算机一直在以惊人的速度发展。目前,人们根据计算机所采用的电子逻辑元件将计算机的发展划分为四个阶段。对于每一个发展阶段,在技术上都是一次新的突破,在性能上都有一次质的飞跃。

1. 第一代计算机(约 1950—1959 年): 电子管计算机

第一代电子计算机是电子管计算机,代表性的产品有 EDVAC、EDSAC、UNIVAC 等,其基本特征是:采用电子管作为计算机的逻辑元件,用穿孔卡片作为数据和指令的输入设备,用磁鼓或磁带作为外存储器,用机器语言或汇编语言编写程序,每秒运算速度仅为几千次,内存容量仅几千字节。由于电子管的特性,第一代计算机体积大、内存小、造价高、可靠性差,主要用于军事和科学计算。

2. 第二代计算机(约 1959—1965 年): 晶体管计算机

第二代电子计算机是晶体管计算机,代表性的产品有 UNIVAC II、TRADIC 和 IBM 的 7090 系列、7094 系列、7040 系列、7044 系列等,其基本特征是:逻辑元件用晶体管代替电子管,用磁芯和磁盘、磁带作为存储器。由于采用了晶体管,计算机体积小、成本低、功能强、功耗小,可靠性大大提高,运算速度达每秒几十万次,内存容量扩大到几十千字节。同时,软件系统有了很大的发展,提出了操作系统的概念,出现了汇编语言,产生了 FORTRAN、COBOL 和 ALGOL 等高级语言。第二代计算机的应用从军事研究、科学计算扩大到数据处理、实时过程控制和事务处理等领域。

3. 第三代计算机(约 1965—1975 年): 中、小规模集成电路计算机

第三代电子计算机是中、小规模集成电路计算机,代表性的产品有 IBM 360 系列、Honey Well 6000 系列、富士通 F230 系列等,其基本特征是:逻辑元件采用小规模集成电路 SSI(small scale integration)或中规模集成电路 MSI(middle scale integration),运算速度可达每秒几十万次到几百万次。这个阶段的存储器进一步发展,体积更小,造价更低,软件逐渐完善,计算机向标准化、多样化、通用化和机种系列化发展。高级程序设计语言在这个时期有了很大发展,出现了操作系统和会话式语言。第三代计算机开始应用于各个领域。

4. 第四代计算机(1975 年至今): 大规模、超大规模集成电路计算机

第四代电子计算机称为大规模、超大规模集成电路计算机,代表性的产品有 IBM 4300 系列、3080 系列、3090 系列和 9000 系列,其基本特征是:逻辑元件采用大规模集成电路 LSI (large scale integration)和超大规模集成电路 VLSI(very large scale integration),运算速度达到每秒上千万次到十万亿次。在第四代计算机的发展进程中,计算机的性能越来越好,生产成本越来越低,体积越来越小,运算速度越来越快,耗电越来越小,存储容量越来越大,可靠性越来越高。同时,操作系统不断完善,软件配置越来越丰富,应用范围越来越广泛,计算机的发展进入以计算机网络为特征的时代。第四代计算机的应用普及社会的各行各业,成为信息社会的重要标志。

四代计算机的电子逻辑元件如图 1-12 所示,特征对比如表 1-1 所示。

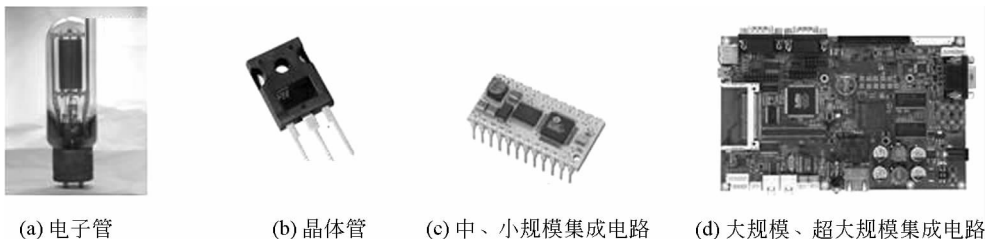


图 1-12 四代计算机的电子逻辑元件

表 1-1 四代计算机特性对比表

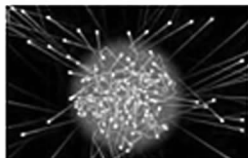
性能指标 发展阶段	第一代 (1950—1959 年)	第二代 (1959—1965 年)	第三代 (1965—1975 年)	第四代 (1975 年至今)
逻辑元件	电子管	晶体管	中、小 规 模 集 成 电路	大规模、超大规模 集成电路
主存储器	小磁芯、磁鼓	磁芯	半导体存储器	半导体存储器
辅助存储器	磁鼓、磁带	磁带、磁盘	磁带、磁盘	磁盘、光盘
处理方式和语言	机器翻译 机器语言	批处理 汇编语言	实时、分时批处理 高级语言	实时、分时批处理 高级语言
运 算 速 度/(次/ 秒)	1 千至 1 万	几万至几十万	几十万至几百万	上千万到十万亿
主要特点	体积大,耗电高, 可靠性差,价格昂 贵,维修复杂	体积较小,可靠性 增强,寿命延长	小型化,性能更 高,寿命更长	微型化,耗电极少, 可靠性很高
应用领域	军事研究、科学 计算	扩大到数据处理、 过程控制	进一步扩大到企 业管理、自动控制	扩大到办公自动 化、图像处理、电子 商务等

1.2.4 计算机的发展趋势

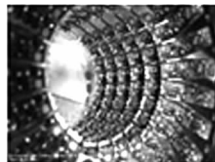
随着计算机技术飞速发展,计算机的应用领域不断拓展,决定了计算机将朝着不同的方向发展与延伸。当前,计算机朝着巨型化、微型化、网络化、智能化、人性化、环保化等方向发展,一些新的计算机正在加紧研究中,预计在不久的将来会走进人们的日常生活,遍及各个领域。部分新技术计算机如图 1-13 所示。



(a) 生物计算机



(b) 光子计算机



(c) 量子计算机

图 1-13 部分新技术计算机

1. 生物计算机(20 世纪 80 年代中期开始)

(1) 特点: 采用生物芯片,由蛋白质分子构成。信息以波的形式传播,运算速度非常快,能耗低,存储能力大,具有生物体的一些特点,如能模仿人脑的思考机制。

(2) 应用: 美国首次公布的生物计算机被用来模拟电子计算机的逻辑运算,解决虚构的 7 城市间最佳路径问题。

2. 光子计算机

(1) 定义: 将光作为信息传输媒体的计算机。

(2) 优点: 速度等于光速,具有频率及偏振特征,传输信息能力强,抗干扰能力强。

(3) 特点: 并行能力强,具有超高速的运算潜力,且在室温下就可以正常工作。

(4) 研究成果：由法国、德国的 60 多名科学家联合研制开发成功世界上第一台光学计算机，其运算速度比目前世界上最快的超级计算机快 1000 多倍，并且准确性极高。

(5) 研究现状：目前光子计算机的许多关键技术，如光存储技术与光存储器、光电子集成电路等已取得重大突破。

3. 量子计算机

(1) 定义：是指利用处于多现实态下的原子进行运算的计算机。这种多现实态是量子力学的标志。

(2) 优点：解题速度快，存储量大，搜索功能强。

(3) 研究成果：美国科学家已成功实现 4 量子位逻辑门，取得了 4 个锂离子的量子纠缠状态。

1.3 计算机的工作过程与性能指标

1.3.1 计算机的工作过程

冯·诺依曼计算机的基本原理是存储程序和程序控制。所谓程序，就是指挥计算机进行操作的指令序列。它告诉计算机要做什么，按什么步骤去做。把要求计算机执行的各种操作命令的形式表示出来，就是指令。

1. 计算机的指令系统

计算机之所以能自动地工作，关键在于预先将指令和数据通过输入设备输入计算机的内存存储器中。其中，每条指令明确规定计算机从何处获取数据，对数据进行何种操作，操作完毕将数据送往何处等步骤。通常，每条指令包括两个内容：操作码和操作数。前者决定要完成的操作；后者决定参与操作的数据及其所在的地址。

指令系统是一台计算机所能执行的全部指令的集合，它是计算机硬件的语言系统，也称机器语言。指令系统是表征一台计算机性能的重要因素，它的格式与功能不仅直接影响机器的硬件结构，而且直接影响系统软件，影响机器的适用范围。指令系统主要有复杂指令系统(CISC)与精简指令系统(RISC)两大类。

2. 计算机的工作过程

计算机的工作过程即计算机执行程序的过程，而执行程序的本质是执行指令，因此计算机的工作过程归结为计算机一条一条地取出指令、分析指令、执行指令的过程。计算机的工作过程如图 1-14 所示。

(1) 取出指令：从存储器取出要执行的指令，送到 CPU 内部的指令寄存器。

(2) 分析指令：把指令寄存器中的指令送到指令译码器，翻译指令，确定指令要完成的操作。

(3) 执行指令：依据指令译码，向计算机各部件发出相应的控制信号，完成指令规定的相关操作。

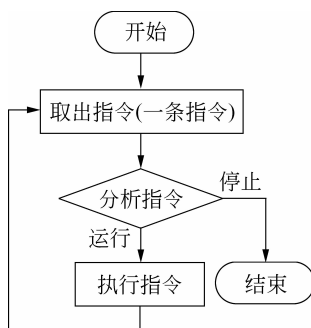


图 1-14 计算机的工作过程示意图

1.3.2 微型计算机的性能指标

在计算机技术的发展过程中,为能对微型计算机的性能进行综合评价,人们概括出字长、主频、存储容量、运算速度和存取周期等性能指标。

1. 字长

字长是指计算机内部一次能直接处理的二进制数据的位数。字长越长,计算机的运算能力越强,精度越高,速度越快,计算机所需的硬件性能越高。通常,字长是8的整数倍。早期微型计算机的字长一般是8位或16位,386及更高的处理器大多是32位。目前市面上主流计算机的字长已达64位。

2. 主频

主频是指CPU的内部时钟工作频率,代表CPU的运算速度,单位一般是MHz、GHz。主频是CPU的重要性能指标,但不代表CPU的整体性能。一般来说,主频越高,速度越快。

3. 存储容量

存储容量是衡量计算机能存储多少二进制数据的指标,包括内存容量和外存容量。内存容量越大,计算机能同时运行的程序越多,处理能力越强,运算速度越快;外存容量越大,表明计算机存储数据的能力越强。目前市面上主流计算机的内存容量在8GB以上,外存容量在1TB以上。

4. 运算速度

运算速度是指计算机每秒钟能执行的指令条数,单位为百万指令数每秒(MIPS)。运算速度比主频更能直观地反映计算机的数据处理速度。运算速度越快,性能越高。

5. 存取周期

存取周期是指内存存储器完成一次完整的读操作或写操作所需的时间,即CPU从内存中存取一次数据的时间。它是影响整个计算机系统性能的主要指标之一。

除此之外,计算机还有其他重要的性能指标,包括可靠性、可维护性、可用性、性价比等,它们共同决定计算机系统的总体性能。

1.4 计算机的特点与分类

1.4.1 计算机的特点

(1) 能自动连续、高速度地运算。计算机由存储的程序控制其操作,一旦输入编制好的程序启动计算机后,它就可以依照程序的控制,自动连接,高速地工作。

(2) 运算速度快。由于计算机由高速电子器件组成,所以它具有惊人的运算速度。目前普通微型计算机的运算速度可达每秒亿次以上,巨型机的运算速度达到每秒万亿次。

(3) 运算精度高。人们在进行数值计算及其他信息处理的过程中,要求结果达到一定的精度。数据的精确度主要取决于计算机能同时处理数据的位数,一般称为字长。字长越长,精度越高。目前计算机的字长有32位、64位、128位等。为了获得更高的计算精度,还

可以进行双倍字长、多倍字长的运算。数值计算精度可达到小数点之后几十位,甚至更多。

(4) 具有超强的记忆能力。计算机的存储器具有存储、记忆功能,能够快速存取数据。随着存储容量不断增大,可存储记忆的信息越来越多,近于无限且记忆准确无误。具有记忆和高速存取能力是计算机自动高速运行的必要条件。

(5) 具有可靠的逻辑判断能力。计算机在各种复杂的控制操作中,具有较高的识别能力和反应速度,完成逻辑推理和定理证明任务,保证其判断准确,控制灵敏。

1.4.2 计算机的分类

计算机可以按照多种标准分类。通常按其运算规模,分为巨型机、大型机、中型机、小型机、微型机和工作站,如图 1-15 所示。



图 1-15 计算机分类

1. 巨型机(也称超级计算机)

(1) 特点: 占地最大,存储容量最大,价格最贵,功能最强,运算速度最快(1998 年已达 3.9 万亿次/秒)。

(2) 应用领域: 多用于战略武器(如核武器和反导弹武器)的设计,空间技术,石油勘探,中、长期天气预报以及社会模拟等领域。巨型机是衡量一个国家经济实力与科技水平的重要标志。

2. 大型机(也称企业计算机)

(1) 特点: 大型,通用性强,具有很强的综合处理和管理能力。

(2) 应用领域: 主要用于大银行、大公司、规模较大的高等学校和科研院所以及政府部门。

3. 中型机

各项技术指标介于大型机和小型机之间的一种计算机。

4. 小型机

(1) 特点: 规模较小,结构简单,可靠性高,成本较低,操作简便,易于维护和使用。

(2) 应用领域: 广泛用于中、小型企事业单位。

5. 微型机(也称个人计算机,PC)

(1) 特点: 设计先进,率先采用高性能处理器 CPU,软件丰富,功能齐全,价格便宜。

(2) 应用领域: 应用非常广泛,几乎无处不在,无所不用。除了台式的,还有膝上型、笔记本型、掌上型、手表型等。

6. 工作站

(1) 特点: 介于 PC 与小型机之间的一种高档微机,具有较高的运算速度和较强的联网功能。

(2) 应用领域: 主要用于特殊的专业领域,例如图像处理、计算机辅助设计等,目前其应用扩展到商业、金融及办公领域。

1.5 计算机的应用

1. 科学计算

科学计算也称数值计算,主要是将计算机用于科学研究和工程技术中提出的数学问题的计算。它是计算机的传统应用领域,也是应用最早的领域。例如,在气象预报、地震探测、军事研究等工作中常常遇到复杂的数学计算,采用传统的计算方法与计算工具难以完成,即使能完成,其计算结果也不能保证准确;采用计算机,仅需几天、几个小时,甚至几分钟,就可精确计算出结果。

2. 数据处理

数据处理也称信息处理,是对大量非数值数据(文字、符号、声音、图像等)进行加工处理,例如,编辑、排版、分析、检索、统计、传输等。数据处理广泛应用于办公自动化、情报检索、事务管理等。近年来,利用计算机综合处理文字、图形、图像、声音等的多媒体数据处理技术已成为计算机最重要的发展方向。数据处理已成为计算机应用的主流。

3. 过程控制

过程控制又称实时控制,指用计算机及时采集动态的监测数据,并按最佳值迅速地对控制对象进行自动控制或调节。这不仅大大提高了控制的自动化水平,而且可以提高控制的及时性、准确性和可靠性。过程控制主要应用于冶金、石油、化工、纺织、水电、机械、航天等工业领域,在军事、交通等领域也应用广泛。

4. 企业管理

计算机管理信息系统的建立,使各企业的生产管理水平迈上了新的台阶。大型企业生产资源规划管理软件(如 MRP II)的开发和使用,为企业实现全面资源管理,生产自动化和集成化,提高生产效率和效益奠定了牢固的基础。

5. 电子商务

电子商务是指通过计算机和网络进行的商务活动。计算机网络的建成,使金融业务率先实现自动化;使用电子货币,使传统的货币交易方式转变为“电子贸易”,不仅方便、快捷,而且减少了现金的流通量,避免了货币交易的风险和麻烦。以银行为例,实现自动化,可以使银行每日处理上百万笔业务,交易价值达上百万美元。