

高等学校试用教材

计算机原理与系统结构

侯炳辉 主编
来 珠
曹慈惠等 编

清华大学出版社

高等学校试用教材

计算机原理与系统结构

侯炳辉 主编

朱 珠 等编
曹慈惠

清华大学出版社



内 容 简 介

本书是管理信息系统专业的技术基础教材，由三部分组成：一、计算机系统概论。二、计算机原理，包括数据及其表示，运算器及其运算方法，控制器及指令系统，主存储器及主存储体系结构，输入输出系统等。三、计算机系统结构，包括并行处理结构与多机结构，新一代机结构，以及两种典型的小型机（AS/400 和 MV）的系统结构。

本书特点：（1）有别于计算机专业的教材，适用于管理类各专业；（2）有一定的深度和广度；（3）满足开发现代管理信息系统的要求；（4）具有与 MIS 专业相适应的先进性与系统性。

读者对象：管理信息系统、管理工程、技术经济、系统工程、工业自动化以及其它非计算机专业的师生，也可供社会上开发应用计算机系统的工程师和工程技术人员参考。

(京) 新登字 158 号

3520/12

计算机原理与系统结构

侯炳辉 主编

☆

清华大学出版社出版

(北京 清华园)

清华大学印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

☆

开本：787×1092 1/16 印张：20.75 字数：493 千字

1992 年 3 月第 1 版 1992 年 3 月第 1 次印刷

印数：00001—10000

ISBN 7-302-00948-1/TP·347

定价：5.75 元

前 言

《计算机原理与系统结构》一书是根据高等工业学校“管理信息系统”(MIS)专业教学指导小组 1987 年 12 月在南京和 1989 年 2 月在北京两次会议确定的“七五”规划教材,教学指导小组推荐它作为管理信息系统专业技术基础课教材,同时也可作为管理类专业如管理工程、系统工程、技术经济以及其它管理类专业的选修教材。

近年来,我国管理信息系统专业有了很大发展,80 年代后期许多高等工业学校,如哈尔滨工业大学、吉林工业大学、天津大学、浙江大学、北方交通大学、北京理工大学、北京科技大学、北京航空航天大学以及一些综合性大学如上海复旦大学、天津南开大学等相继成立 MIS 专业,正式招收学生。同时,从 80 年代中期开始,我国一些大学开始有 MIS 本科毕业生。但尽管如此,由于 MIS 专业是一个新兴专业,国外也只有 20 多年的历史,中国 10 年左右的开创与发展,显然有许多经验需要总结和探索。

1987 年成立的高等工业学校“管理信息系统”专业指导小组在总结研究我国 MIS 专业的培养目标、专业方向、课程设置的基础上,着重研究了教材建设,并制订了“七五”期间教材出版计划。会议决定由清华大学经济管理学院和天津大学管理学院联合编写《计算机原理与系统结构》一书,并指定全国高等工业学校 MIS 专业教学指导小组副组长侯炳辉为主编。

管理信息系统作为一个具体的信息系统来说是以计算机为依托的信息处理系统。因此,作为分析、设计和实现 MIS 的专门人才,理所当然地需要有较深的计算机基础知识和计算机的应用能力。因此,《计算机原理和系统结构》一书就成为一本十分重要的专业基础教材,但这本教材又必须有别于计算机专业的教材,因而编写本教材的责任很重,难度很大。编写本教材的指导思想是:(1)本教材是为管理信息系统专业使用的,因此必须要求在计算机原理与系统结构方面有相当的深度和广度;(2)本教材遵循实用的原则,紧密结合现代管理信息系统对计算机的要求;(3)应有与 MIS 专业相适应的先进性和系统性。显然,编好这样的教材需要经过多次反复实践,我们只是初次尝试,权当抛砖引玉之用。

本教材的内容由三部分组成:第一部分为计算机概论。这一部分概括了计算机的产生、发展以及硬件、软件及其应用等内容,使读者一开始就对计算机有一个概貌,为以后学习原理及各个部件作好准备,即所谓先“鸟瞰”一下“森林”,然后再洞析“树木”之意。第二部分为计算机原理部分,这一部分包括了第二至第六章的内容。第二章对计算机的处理对象同时也是赖以激活计算机的流动实体——数据和信息进行介绍,详细论述了各种数据的表示方式。第三章介绍计算机的核心部件之一的运算器及运算方法。第四章介绍计算机的指挥系统——指令系统及控制器。第五章介绍存储系统。第六章介绍计算机的输入/输出系统。通过介绍这些部件的组织及原理,读者可以详细了解各种“树木”的特征及其运行,从而从原理上了解计算机的工作机理。第三部分为计算机系统结构部分,这一部分着重从最新技术的观点介绍系统结构。第七章介绍了并行处理

结构和多机结构；第八章为新一代机的系统结构。第九章、第十章介绍具体的两种机型的结构，使读者又回到了“森林”，对计算机的全貌得到深入一步的了解。

本书的前导课程为数字电子电路。学生应至少具有门电路的知识。本书的后续课程为有关计算机的其它课程，如数据结构，数据库，操作系统等。本书可在64—80小时内讲完。

参加本书编写的有清华大学侯炳辉（第一章）、曹慈惠（第二、五章）、蔡进（第十章）；天津大学的宋珠（第三、四、九章）、阎金平（第六、七、八章）。本书由清华大学吕文超教授主审，天津大学何丕廉副教授和清华大学高云鹏副教授参审。在编写过程中，全国高等工业学校管理信息系统教学指导小组组长黄梯云教授给予了很大的关怀，在此一并致以诚挚的谢意。

由于时间仓促，水平有限，错谬在所难免，热烈欢迎读者批评指正。

编者

1991年1月

目 录

前言.....	(I)	§3.1.5 基本的十进制加法器...	(45)
第一章 计算机系统概论.....	(1)	§3.2 定点乘法运算.....	(47)
§1.1 计算机发展概况.....	(1)	§3.2.1 原码一位乘法.....	(47)
§1.2 计算机的分类及其应用.....	(2)	§3.2.2 补码一位乘法.....	(50)
§1.3 计算机硬件.....	(4)	§3.2.3 阵列乘法器.....	(54)
§1.3.1 计算机硬件结构.....	(4)	§3.3 定点除法运算.....	(57)
§1.3.2 主要部件简介.....	(6)	§3.3.1 原码一位除法.....	(57)
§1.3.3 计算机系统的性能指标.....	(8)	§3.3.2 补码一位除法.....	(60)
§1.4 计算机软件.....	(9)	§3.3.3 阵列除法器.....	(62)
§1.4.1 操作系统的概述.....	(10)	§3.4 浮点算术运算.....	(65)
§1.4.2 数据库管理系统概述.....	(11)	§3.4.1 浮点加法和减法.....	(65)
§1.4.3 计算机网络系统.....	(12)	§3.4.2 浮点乘法运算.....	(67)
§1.4.4 高级语言及语言处理器.....	(13)	§3.4.3 浮点除法运算.....	(67)
§1.4.5 常用的通用软件.....	(13)	§3.5 逻辑运算.....	(68)
习题.....	(13)	§3.5.1 逻辑非.....	(68)
第二章 计算机数据表示.....	(15)	§3.5.2 逻辑加.....	(68)
§2.1 数值数据的表示.....	(15)	§3.5.3 逻辑乘.....	(69)
§2.1.1 进位计数制及其相互 转换.....	(15)	§3.5.4 逻辑异或.....	(69)
§2.1.2 数的机器码表示.....	(22)	§3.6 运算器的组成和结构.....	(70)
§2.1.3 校验码.....	(27)	§3.6.1 多功能算术/逻辑运算 单元(ALU).....	(70)
§2.2 非数值数据的表示方法.....	(29)	§3.6.2 内部总线.....	(74)
§2.2.1 字符数据.....	(29)	§3.6.3 运算器的基本结构.....	(75)
§2.2.2 逻辑数据.....	(33)	§3.6.4 运算器组成实例.....	(76)
§2.2.3 汉字的表示方法.....	(33)	习题.....	(78)
§2.2.4 语音识别及语言表示 原理.....	(36)	第四章 指令系统及控制器.....	(79)
习题.....	(37)	§4.1 计算机的指令系统.....	(79)
第三章 运算方法及运算器.....	(38)	§4.1.1 指令系统.....	(79)
§3.1 定点加减法运算.....	(38)	§4.1.2 指令的格式.....	(79)
§3.1.1 补码加法运算.....	(38)	§4.1.3 指令的类型.....	(80)
§3.1.2 补码减法运算.....	(40)	§4.2 指令的寻址方式.....	(81)
§3.1.3 溢出及其检测方法.....	(41)	§4.2.1 寻址的概念.....	(81)
§3.1.4 基本的二进制加/减 法器.....	(42)	§4.2.2 基本的寻址方式.....	(82)
		§4.2.3 寄存器寻址方式.....	(83)
		§4.2.4 扩展寻址方式.....	(87)

§4.3 中央处理器的功能及组成..... (91)	§5.1 存储器概述.....(126)
§4.3.1 CPU功能 (91)	§5.1.1 存储器的基本概念.....(126)
§4.3.2 CPU组成 (92)	§5.1.2 存储器分类.....(127)
§4.3.3 CPU 中的主要寄存器..... (92)	§5.1.3 存储器的分级结构.....(130)
§4.3.4 操作控制器及时序产生器..... (95)	§5.2 主存储器的基本结构和操作...(131)
§4.4 指令周期..... (95)	§5.2.1 存储体阵列.....(132)
§4.4.1 指令周期的基本概念... (95)	§5.2.2 地址译码驱动系统.....(132)
§4.4.2 非访内指令的指令周期..... (97)	§5.2.3 存储器的基本操作.....(135)
§4.4.3 直接访内指令的指令周期..... (99)	§5.3 半导体随机存储器.....(135)
§4.4.4 间接访内指令的指令周期.....(101)	§5.3.1 半导体存储器的基本存储原理.....(135)
§4.4.5 程序控制指令的指令周期.....(104)	§5.3.2 半导体随机存储器实例.....(137)
§4.5 组合逻辑控制器.....(105)	§5.3.3 半导体 RAM 的组织.....(138)
§4.5.1 组合逻辑控制器的原理.....(105)	§5.3.4 半导体随机动态存储器的刷新.....(140)
§4.5.2 组合逻辑控制器举例... (106)	§5.4 只读存储器.....(140)
§4.6 微程序控制器.....(108)	§5.4.1 MROM(140)
§4.6.1 微程序控制的基本原理.....(108)	§5.4.2 PROM(141)
§4.6.2 微指令的结构.....(110)	§5.4.3 EPROM(142)
§4.6.3 串/并行微程序控制 ... (111)	§5.5 多体交叉存储器和双口存储器.....(142)
§4.6.4 动态微程序设计.....(112)	§5.5.1 多体交叉存储器的工作原理.....(142)
§4.7 PLA 控制器(112)	§5.5.2 双口存储原理.....(146)
§4.7.1 可编程逻辑阵列(PLA)的基本原理.....(112)	§5.6 存储器的层次结构.....(146)
§4.7.2 PLA 控制器.....(113)	§5.6.1 什么是存储器层次结构.....(146)
§4.8 应用重叠原理的流水线处理...(114)	§5.6.2 存储器层次结构的工作原理.....(147)
§4.8.1 指令重叠控制方式.....(114)	§5.6.3 高速缓冲存储器.....(149)
§4.8.2 流水控制方式.....(117)	§5.7 虚拟存储器.....(152)
§4.9 堆栈型处理.....(120)	§5.7.1 虚拟存储器的基本概念.....(152)
§4.9.1 堆栈型处理的基本工作原理.....(120)	§5.7.2 页式虚拟存储器.....(153)
§4.9.2 堆栈处理机的指令.....(122)	§5.7.3 段式虚拟存储器.....(156)
§4.9.3 堆栈机器的程序设计...(123)	§5.7.4 存储器管理部件.....(157)
§4.9.4 堆栈性能的改进.....(124)	习题.....(158)
习题.....(125)	第六章 输入输出系统.....(160)
第五章 主存储器及存储体系结构.....(126)	§6.1 输入输出系统的发展.....(160)

§6.2 程序查询方式·····(161)	第七章 并行处理和多机系统·····(199)
§6.2.1 设备编址和 I/O 指令·····(161)	§7.1 并行性的概念和发展·····(199)
§6.2.2 程序查询方式的接口·····(163)	§7.1.1 并行性的广义理解·····(199)
§6.2.3 程序查询输入/输出 方式·····(163)	§7.1.2 并行性的发展·····(200)
§6.3 程序中斷方式·····(165)	§7.2 流水线计算机·····(202)
§6.3.1 中断的基本概念·····(165)	§7.2.1 相关处理及控制·····(202)
§6.3.2 中断响应过程·····(168)	§7.2.2 流水线处理机实例·····(207)
§6.3.3 中断处理·····(170)	§7.3 并行处理机·····(210)
§6.3.4 中断系统的软硬件功能 分配·····(171)	§7.3.1 并行处理机的特点及 组成·····(210)
§6.3.5 程序中斷方式的基本 接口·····(171)	§7.3.2 ILLIAC IV 阵列处 理机的原理和结构·····(212)
§6.3.6 单级中断和中断向量的 产生·····(173)	§7.3.3 阵列处理机的算法·····(214)
§6.3.7 多级中断·····(174)	§7.4 数据流计算机的结构原理·····(217)
§6.4 DMA 方式·····(176)	§7.4.1 基本节点和数据流图·····(219)
§6.4.1 DMA 方式的基本 概念·····(176)	§7.4.2 数据流计算机结构·····(222)
§6.4.2 三种 DMA 传送 方式·····(176)	§7.4.3 DFNDR 数据流计算 机程序图·····(224)
§6.4.3 基本的 DMA 控 制器·····(179)	§7.5 多机系统·····(225)
§6.5 通道方式·····(182)	§7.5.1 多机系统的结构·····(225)
§6.5.1 通道的功能·····(182)	§7.5.2 多机系统与并行处理 机的区别·····(231)
§6.5.2 通道的类型·····(183)	§7.6 计算机网络·····(232)
§6.5.3 I/O 指令和通道 指令·····(185)	§7.6.1 计算机网的定义·····(233)
§6.5.4 通道程序·····(185)	§7.6.2 计算机网的功能·····(233)
§6.5.5 通道状态字和输入 输出中断·····(186)	§7.6.3 计算机网的结构·····(236)
§6.5.6 通道工作的过程·····(187)	§7.6.4 微型机局部网·····(238)
§6.6 外围设备·····(190)	习题·····(244)
§6.6.1 外围设备的一般功能和 分类·····(190)	第八章 新一代计算机的体系结构·····(245)
§6.6.2 输入设备·····(191)	§8.1 新一代机的体系特点·····(245)
§6.6.3 输出设备·····(192)	§8.1.1 新一代机的由来·····(245)
§6.6.4 汉字设备·····(195)	§8.1.2 新一代机的系统目标·····(246)
§6.6.5 数据通信设备·····(196)	§8.2 体系层次和概念框图·····(248)
§6.6.6 过程控制设备·····(197)	§8.2.1 系统的层次·····(248)
习题·····(198)	§8.2.2 应用系统的结构配置·····(251)
	§8.2.3 软件系统的组成·····(252)
	§8.2.4 硬件系统结构·····(253)
	§8.3 核心语言和推理结构·····(254)
	§8.3.1 PROLOG 语言·····(254)
	§8.3.2 顺序推理机 SIM 的 结构·····(257)
	§8.3.3 并行推理机 PIM 的

结构.....(258)	§10.1.1 ECLIPSE MV/ 系列机的性能特点 ... (292)
§8.4 知识库机的结构.....(259)	§10.1.2 ECLIPSE MV/ 系列机的体系结构 ... (299)
§8.4.1 Delta 的系统结构 ... (260)	§10.2 ECLIPSE MV/系列 机的硬件 (305)
§8.4.2 Delta 与 PSI 的 连接.....(261)	§10.2.1 ECLIPSE MV/系 列机硬件特点 (305)
§8.5 人工智能接口机构.....(264)	§10.2.2 ECLIPSE MV/ 3500DC (307)
§8.5.1 自然语言处理.....(265)	§10.2.3 ECLIPSE MV/ 9500 (308)
§8.5.2 声音识别.....(265)	§10.2.4 ECLIPSE MV/ 30000.....(309)
§8.5.3 图形及图象处理.....(266)	§10.2.5 ECLIPSE MV/ 40000HA.....(312)
§8.6 智能机的展望.....(266)	§10.3 ECLIPSE MV/系列机的 软件 (313)
习题.....(269)	§10.3.1 操作系统和服务 程序 (313)
第九章 IBM AS/400 计算机	§10.3.2 软件开发环境 (315)
系统组织与结构.....(270)	§10.3.3 应用软件 (317)
§9.1 AS/400 概况.....(270)	§10.4 网络与通讯 (318)
§9.1.1 AS/400 的性能特点... (270)	§10.4.1 局部网络 (318)
§9.1.2 AS/400 的基本结构... (273)	§10.4.2 广域网络 (321)
§9.1.3 AS/400 系列型号及 性能.....(274)	§10.4.3 文件/文本传输软件... (321)
§9.1.4 AS/400 体系结构..... (274)	§10.4.4 与 IBM 计算机相 连的软件 (321)
§9.2 AS/400 硬件.....(277)	§10.4.5 与外围设备的连 接器.....(321)
§9.2.1 AS/400 硬件的概况... (278)	参考文献.....(323)
§9.2.2 AS/400 处理器.....(280)	
§9.2.3 I/O 卡适配器及I/O 控制器.....(282)	
§9.3 AS/400 软件.....(286)	
§9.3.1 AS/400 软件概述.....(286)	
§9.3.2 AS/400 操作系统.....(287)	
第十章 ECLIPSE MV/系列 机系统组织与结构.....(292)	
§10.1 ECLIPSE MV/ 系列机 概况.....(292)	

第一章 计算机系统概论

§ 1.1 计算机发展概况

世界范围内的信息革命继续在蓬勃发展。信息技术的基础是电子计算机。电子计算机是20世纪科学技术最卓越的成就之一，它的出现引起了当代生产技术和生产、生活的划时代变化。电子计算机是人类文化发展的产物，是生产实践的结果。计算工具达到今天如此先进的水平，有一个漫长的历史过程，早在公元2世纪，我国就出现了算盘的形式，17世纪法国人发明了机械台式计算机，20世纪30至40年代，出现了机械自动化计算机。1946年，美国宾夕法尼亚大学的工程师和科学家设计了第一台电子计算机，ENIAC(Electronic Numerical Integrator and Calculator)，这是一个划时代的事件，美国陆军用它计算炮弹弹道比人工计算提高效率8400倍，显示了强大的威力。但是ENIAC和今天的高性能电子计算机比较起来却十分“笨拙”了。ENIAC使用了18800只真空管，1500只继电器，7000只电阻器，10000只电容器，功耗150kW，体积85m³，占地170m²，重36t，而功能却远远不如一台现代化的普通微机。40多年来，人类社会经历了辉煌的发展时期，计算机技术得到了长足的进步，其发展史是极其丰富多彩的。

学术界经常使用器件(硬件)划分计算机的发展史，如第一代电子管计算机(1947~1957)，第二代晶体管计算机(1958~1964)，第三代集成电路计算机(1964~1972)，第四代大规模集成电路计算机(1972~)，目前提出了所谓第五代(或新一代)计算机。

关于新一代机的构想和理论甚为活跃，综合起来有如下内容：新一代机采用超大规模的集成电路；系统结构有革命性的变化，类似于人脑的神经网络；材料上使用常温超导材料和光器件；采用超并行结构的数据流计算等。

随着计算机硬件的发展，计算机软件技术也不断地进步，因此也可用软件的发展来划分计算机的发展阶段。以计算机语言为例，第一代使用机器语言，每条指令都由二进制码0和1组成，编程麻烦，容易出错，效率很低，又很难记忆；第二代汇编语言，用符号编程，比机器语言方便，但仍然和具体机器的指令系统有关，也比较繁琐；第三代语言即所谓高级语言。50年代初陆续出现的为数众多的高级语言为计算机的推广应用开辟了广阔前景，著名的高级语言有ALGOL, FORTRAN, COBOL, BASIC, PASCAL, C, PL/I, Ada等等，这些语言类似于日常使用的数学和语言表达形式，编程、理解和记忆都很方便，且源程序不受机型限制；近年来出现了所谓第四代语言(4GL)以及所谓面向目标(object-oriented)的语言，计算机辅助软件工程(CASE—Computer Aided Software Engineering)等，后者已超越了计算机语

言的范围,实际上是集语言、数据库等软件于一体,形成所谓信息系统应用生成器(AG—*Application Generator*),这方面的研究是当前热门的课题。

计算机是在应用中不断发展的,应用始终是发展的动力、发展的目标和归宿,因此也可以从应用的观点来划分计算机的发展史。最早的应用是军事上的需要,如炮弹弹道计算,核武器的设计等;其次是广泛的用于科学计算,工程设计计算;第三阶段是大量用于管理。50年代中计算机第一次处理工资单时使计算机的应用产生了革命性的变化,现在计算机的80%以上用于管理;再接着是计算机辅助设计(CAD)和辅助制造(CAM);进入90年代,计算机的应用已趋向于综合化和智能化,例如在一个企业里,计算机不仅用于科学计算、辅助设计和辅助制造,还用于辅助管理和辅助决策(MIS与DSS),以及办公自动化(OA)等等,使设计、生产自动化和管理自动化融为一体,形成所谓计算机集成制造系统(CIMS—*Computer Integrated Manufacturing System*),再发展下去就是工厂自动化(*Factory Automation*)或称无人工厂。计算机应用的综合化结果必然提出智能化的要求,实际上计算机辅助高层决策时就具有了智能功能,DSS(*Decision Support System*)/ES(*Expert System*)利用人工智能(AI—*Artificial Intelligence*)技术,代替人判断、推理寻找最优方案,以辅助决策者决策,计算机应用的智能化不仅反应在软件上,90年代硬件智能化也将有突破性的进展。

许多学者对计算机的发展史还提出了所谓几个“浪潮”的观点。第一个浪潮是以IBM370为代表的大型机的出现,其特点是以批处理为主,主要用于大规模科学计算;第二个浪潮是60—70年代的小型机浪潮,以NOVA、PDP及其发展到以后的MV、VAX机为代表,其特点是多用户分时处理;第三个浪潮是70—80年代的微型计算机PC(*Personal Computer*)的出现并迅速渗入到企业、机关、学校甚至家庭;目前计算机向综合的方向发展,将各种计算机的特点和优点综合起来。

§ 1.2 计算机的分类及其应用

计算机分类的方法大致可分如下几种:

一、按信息的形式和处理方式分。可分为数字计算机、模拟计算机以及数字模拟混合计算机。在数字计算机中,信息处理的形式是用二进制运算,其特点是解题精度高、便于存储信息,是通用性很强的计算工具,能胜任科学计算、数据处理、过程控制、计算机辅助设计、计算机辅助制造以及人工智能等方面的工作,通常所说的电子计算机就是指数字计算机。模拟计算机中处理的信息是连续变化的物理量,如温度、压力、距离……,其基本运算部件是由运算放大器配以电阻、电容、二极管等电子元件等构成的反相器、加法器、函数运算器、微分器、积分器等运算电路。模拟计算机的运算速度极快,但精度不够高,且每做一次运算需要重新设计和编排线路,故通用性不强,且信息存储困难。这种计算机主要用于解数学方程或自动控制模拟系统的连续变化过程。由于数字计算机速度有了很大提高,模拟计算机的应用越来越让位于数字计算机。混合电子计算机是取两种计算机之长,既有数字量又有模拟量,既能高速运算,又便于存储,但

这种计算机设计困难，造价昂贵。

二、按计算机的用途分。按计算机的用途可分为通用计算机和专用计算机。通用机根据不同的计算机系列型号配有一定的存储容量，一定数量的外围设备，也配有多种系统软件如数据库管理系统、操作系统等，这种计算机通用性强，功能全，现在一般讲的计算机就是指通用计算机。专用计算机功能单一，是专为解决某些特定问题而设计的计算机，因此可靠性高，成本低，结构往往比较简单。如银行系统的计算机，军事系统的某些计算机等。

三、按计算机规模分。可划分为巨型机，大型机、中型机、小型机、微型机等。这种划分是综合了计算机的运算速度、字长、存储容量、输入输出能力、价格等指标划分的。一般说大型机结构复杂，运算速度快，存储量大，价格昂贵。由于计算机性能日新月异地变化，划分的标准也就不可能一成不变，70年代巨型机的标准是速度超过每秒运算1千万次(10MIPS)，存储容量超过1000兆(外存)，价格1千万美元以上，但到了80年代，巨型机的速度是每秒运算1亿次以上，如我国1983年生产的“银河”巨型机每秒运算次数超过了1亿次。

计算机的应用领域已涉及到工业、农业、商业、机关事物处理、学校辅助教育甚至日常生活，几乎所有领域都将见到计算机的踪迹。按照计算机加工信息的方式和处理信息的特点，一般分为两大类——数值计算和非数值应用，而且非数值应用范围已远远超过了数值计算。计算机的应用大致分为如下方面：

一、在科学计算中的应用。计算机应用的最早领域是科学计算，第一台计算机ENIAC就是用于计算弹道计算表的，以后如天气预报的计算，人造卫星、原子反应堆和核武器、导弹和航天飞机、大型水利枢纽、大型桥梁、高层建筑、地震、地质和重型机械的结构设计，飞机、轮船的外型设计等都离不开大型高速计算机。在基础科学研究方面，生物学中的脱氧核糖核酸和人工蛋白质的合成，人工胰岛素的合成，物质结构分析等复杂计算都需要高速大型计算机。

二、在实时控制中的应用。计算机在工业测量和控制方面的应用已十分成熟和广泛，如大型化工企业的自动采集各项工艺参数，进行检验、比较以控制工艺流程，大型冶金企业的高炉炼铁控制，钢材轧制控制，30万吨合成氨装置巡回检测和显示打印制表，数控机床控制，电炉温度闭环控制，国防工业中的导弹检测和控制，坦克火炮控制，飞机和舰艇的分布式控制系统等等。应该特别指出的是，微机的出现为实时控制开辟了更为广泛的应用领域，特别是单片机的应用，它代替了传统仪器仪表的功能，具有可编程、数据处理和对外接口等能力，仪表的智能化使工业自动化水平推进到更高的一级，例如智能仪表通过通用接口总线(General Purpose Interface Bus)直接和自动测试、自动控制系统联结，实现系统的遥测遥控。

三、在数据处理中的应用。电子计算机应用最广泛的领域还是数据处理。所谓数据处理是指计算机用于处理生产、经济活动、社会和科学研究中获得的大量信息。如人口普查数据的搜集、转换、分类、计算、存储、传输和输出报表；政府机关的办公文件的处理；银行的电子化，全市甚至全国同类银行联机办理存款支付；旅游管理自动化可将全市甚至全国同一旅行社的旅馆联机办理客房预约，甚至还可与交通系统联网，实现自

订票业务。情报检索系统，通过卫星能查阅国内外某图书馆的资料。企业中数据处理将涉及到各种事务处理，如生产统计、帐务处理、成本核算、库存管理等，在这些数据处理的基础上通过进一步信息加工支持管理和决策，为企业制订计划和优化运行，成为实时管理的信息系统。

四、计算机在辅助设计和辅助制造 (CAD/CAM) 中的应用。计算机在辅助设计 (CAD) 和辅助制造 (CAM) 中的应用是另一个十分重要和广泛的应用领域，顾名思义，计算机辅助设计是用计算机帮助画图，因此计算机图形学是 CAD 的基础，通过 CAD 软件包，在 CRT 图形显示器上十分方便地用光笔修改图形，并能从各个侧面观察投影图以及剖面图；还可以将图形放大、缩小、转动；随时修改设计方案，大大地提高了设计效率，减少了设计时间。CAD 的主要设备有：主计算机，CRT 图形显示器，图形输入用的数字化仪，图形输出用的绘图机光笔等。

数控机床是 CAM 的中心设备，围绕数控机床有一组自动化设备，以完成加工件的运输、组装、测量、检查等功能。CAM 的前期是生产准备，生产准备包括进行工程和生产设计，以及制定计划，后期是实际生产，包括加工、装配、试验。现在通常把 CAD 和 CAM 放在一起，形成 CAD/CAM 一体化，如图 1.1 所示。

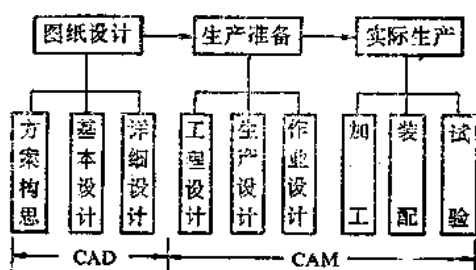


图 1.1 CAD/CAM 系统

五、办公自动化系统中的应用。办公自动化系统是这样的一个信息系统，它以支持办公自动化为目的，如日程管理、电子邮政、电子会议、文档管理、统计报表等等，并能辅助管理和决策。办公自动化的技术范围较宽，除计算机作为主机以外，还有各工作站（也可能是微机），网络系统，数据库，通信技术，以及轻印刷等，目前比较知名的办公自动化软件有

DG 公司的综合办公自动化系统 CEO，DEC 公司的 ALL-IN-ONE、IBM 公司的 POS (Professional Office System) 等等，其中 CEO 已经汉化，并在国务院办公厅、民政部、最高人民法院等处使用，效果很好。

除以上应用范围外，在模式识别，人工智能等方面也有广泛的应用。

§ 1.3 计算机硬件

§ 1.3.1 计算机硬件结构

实际应用的计算机系统是由计算机硬件系统、软件系统以及通讯网络系统组成的一个整体系统。计算机硬件系统是指构成计算机的所有实体部件的集合，通常这些部件由电路（电子元件）、机械等物理部件组成，它们都是看得见摸得着的，故通常称为“硬件”。图 1.2 所示的计算机硬件结构也可以称为冯·诺伊曼结构，它由五大部件组成：主机部分由运算器、控制器、存储器组成，外设部分由输入设备和输出设备组成，其中

核心部件是运算器。运算器由逻辑部件及逻辑电路组成，其功能为进行算术和逻辑运算。存储器由记忆单元组成，存放数据、中间结果以及一系列运算命令。控制器也是由逻辑部件和电路组成的，它根据事先给定的命令（存放在存储器中）发出各种控制信号，使整个运行过程自动按步进行。运算器和控制器合称为中央处理单元（*Central Processing Unit*）简称CPU。

输入设备用于输入原始数据及控制命令。输出设备用于输出运行结果，如用输出设备CRT输出屏幕显示，用输出设备打印机输出打印报表等。输入输出设备合称外部设备，或简称外设。外设还有外存储设备（如磁盘、磁带），图形终端，中文终端和绘图仪等。

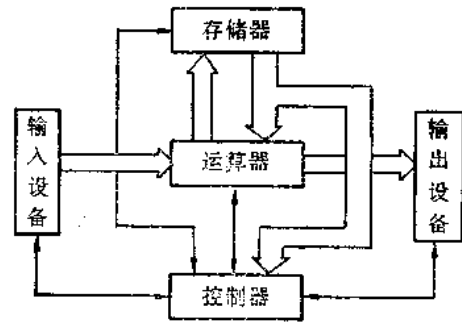


图 1.2 计算机的基本组成

由图 1.2 可知，计算机各部件之间的联系是通过两股信息流动而实现的，宽的那一股代表数据流，窄的代表指令流。数据由输入设备输入至运算器，再存于存储器中，在运算处理过程中，数据从存储器读入运算器进行运算，运算的中间结果存入存储器，或由运算器经输出设备输出。指令也以数据形式存于存储器中，运算时指令由存储器送入控制器，由控制器控制各部件的工作。

计算机硬件之间联接线路分为网状结构与总线结构，这里主要介绍总线（BUS）结构。总线结构有如下几种形式：

一、以 CPU 为中心的双总线结构

所谓总线实际上是一组并行的导线，导线的数目和计算机字长相同，数据和指令通过总线传送。图 1.3 是以 CPU 为中心的双总线结构，有两条总线：输入输出（I/O）总线（或称数据总线）和存储总线。

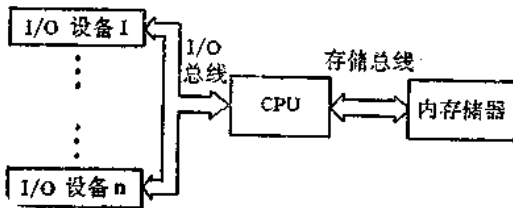


图 1.3 以 CPU 为中心的双总线结构

这种结构的处理效率不高，因为从存储器中存取数据时必须通过运算器，运算器成为中间站，从而影响了运算器的工作效率。

二、以存储器为中心的双总线结构

图 1.4 是以存储器为中心的双总线结构，这种结构的输入输出设备直接通过 I/O 总线和内存存储器传输数据，而不必通过 CPU 中的运算器，从而提高了计算机的效率，

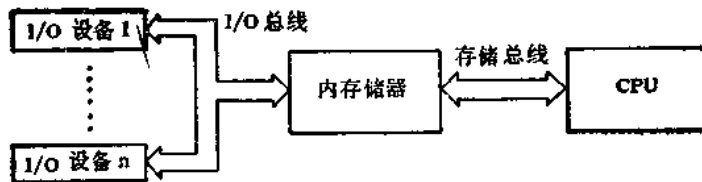


图 1.4 以内存存储器为中心的双总线结构

70年代以来,许多计算机都采用这种总线方式。

三、单总线结构

图 1.5 为单总线结构,该结构将 I/O 设备, CPU 以及内存储器都连接到同一总线上。单总线结构简单,增减设备方便,大多数微机采用这种结构。

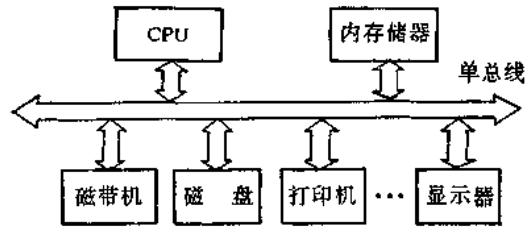


图 1.5 单总线结构

§ 1.3.2 主要部件简介

一、运算器

运算器是完成二进制编码的算术或逻辑运算的部件。运算器由累加器(用符号 L_A)、通用寄存器(用符号 L_B)和算术逻辑单元(用符号 ALU)组成,核心是算术逻辑单元。累加器 L_A 是一个位数和字长相同的寄存器,它既能接受来自总线的二进制信息作为参加运算的一个操作数,向算术逻辑单元 ALU 输送,又能存储总线送来的由 ALU 运算的结果,累加器 L_A 与总线之间的数据传送是双向的。通用寄存器 L_B 也是和字长位数相同的寄存器,用于暂存参加运算的另一个操作数,操作数来自总线。算术逻辑单元由加法器及控制门等逻辑电路组成,以完成 L_A 和 L_B 中的数据相加或相减的运算。

二、存储器

存储器就象大楼的每间房子(存储器中称为单元)内可存放东西一样,存放数据或命令,在计算机中的存储器包括内存储器(又叫主存储器或随机存储器,简称内存或主存),外存储器和只读存储器、高速缓冲存储器以及寄存器等。随机存储器是按地址存取数据的,若地址总线共有 20 条地址线($A_0 \sim A_{19}$),即有 20 个二进制位,可形成 $2^{20} = 1048576$ 个地址,(1 兆地址)。图 1.6 中的存储器分成 4 块,每块对应 256k 地址,这些地址由地址线 $A_0 \sim A_{17}$ 共 18 位决定,地址 A_{18} 和 A_{19} 通过块地址译码器译码得到 4 个控制电位,分别控制 00、01、10、11 四块存储器,这种存储器就可以设计成

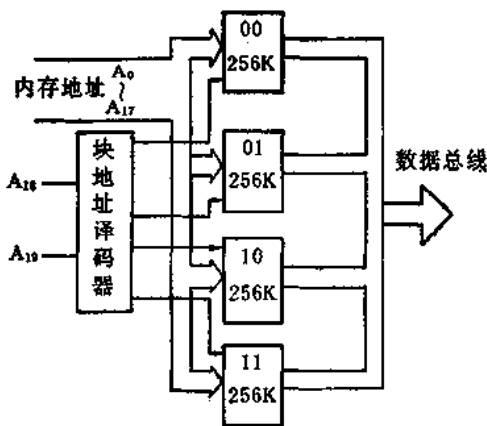


图 1.6 存储器分块

可扩充方式,基本容量 256k,此时 A_{18} 、 A_{19} 值都为 0 需要时再扩充一块,将 00 块和 01 块相加得 512k 容量,如此最高可扩到 1024k 即 1 兆内存。存储容量的可扩充能力是衡量计算机性能的一个重要指标,但主存容量毕竟有限,因此设想用外存储器作为主存的辅助(称辅存),这样给用户提供了比主存大得多的逻辑存储容量,人们称这种扩大了存储容量为“虚拟存储器”,为用户提供了方便和提高了支持系统软件的能力,详细介绍可见后面第五章。

三、控制器

控制器用于控制整个计算机自动地、连续地和协调地完成一条条指令。控制器由三大部件组成，它们是指令部件、时序部件和操作控制部件。

(1) 指令部件 指令部件包括程序计数器 PC，指令寄存器 IR 和 指令译码器 ID。程序计数器由触发器组成，用于存放当前执行的指令地址，当该指令执行完成，程序计数器自动加1，计算机执行下一条指令，如此使计算机顺序逐条执行完存放在内存中的指令，从而完成一个完整的程序。指令寄存器 IR 也是由触发器组成的，计算机从内存取出的指令送到指令寄存器 IR，IR 将指令的操作码送到指令译码器 ID，译码器确定操作类型，同时 IR 根据指令操作数的内容，指出参加操作的地址。指令译码器是一组逻辑电路，如图 1.7 所示的译码器线路中，当来自指令的高 4 位 ($I_7 \sim I_4$) 二进制操作码是 0001 时，则经译码后只有 ADD 端为高电平“1”，而其它几个输出保持低电平“0”，所以只要发现 ADD 输出变为高电平就可知道是一条加法指令。表 1.1 为 ID 真值表。

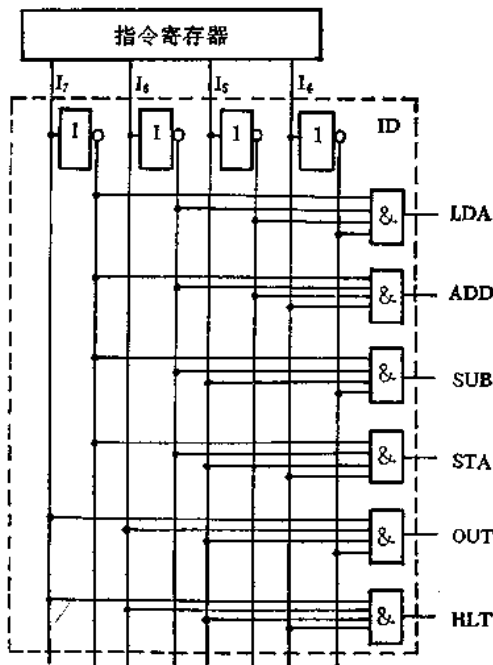


图 1.7 指令译码器 ID

表 1.1 ID 真值表

I_7	I_6	I_5	I_4	输出
0	0	0	0	LDA
0	0	0	1	ADD
0	0	1	0	SUB
0	0	1	1	STA
1	1	1	0	OUT
1	1	1	1	HLT

(2) 时序部件 时序部件产生定时节拍，一般由时钟信号源、节拍发生器及微操作电路组成。时钟信号源（用符号 CLK 表示）不断地产生一定频率、一定宽度的时钟脉冲信号，其脉冲频率即主频率是衡量计算机速度的一个重要参数，一般用石英晶体振荡器作为时钟信号源。节拍发生器 PDC 是由触发器组成的环形计数器和一些控制电路组成的。时钟脉冲送入节拍发生器后，产生节拍脉冲，每个输出端状态按顺序变化产生脉冲电平并周期性的发送出去。微操作电路的作用是将指令译码器输出的控制电位与来自节拍发生器的节拍脉冲电位进行组合，以产生指令所需要的按一定时间顺序出现的一系列微操作信号，将它们送往运算器、存储器等各个部件，以完成该指令所规定的

全部操作。

四、输出寄存器

输出寄存器用于存放输出结果，以便由它通过必要的接口（输出通道），在输出设备上输出运算结果。

五、输入设备

目前主要通过 CRT 终端和键盘实现人机对话。磁性设备阅读机，光学阅读机等都可作为输入设备。

§ 1.3.3 计算机系统的性能指标

评价计算机性能指标是一个复杂的问题，早期只局限于字长、运算速度和存储容量三大指标，实际使用说明只考虑这三大指标是很不够的，目前要考虑的因素有如下几个方面：

一、主频（或时钟周期）

主频是计算机的主要性能指标之一，主频很大程度上决定了计算机的运行速度，主频的单位为兆赫芝（MHz），现在中高档微机的主频在 5~30 MHz 的范围内，例如 Intel8086 为 5MHz，80286 为 8MHz，80386 为 16MHz，80486 在 25~33MHz 之间。

二、字长指运算器

字长指运算器中一条指令的二进制位数，微机字长有 4 位、8 位、16 位和 32 位之分，大型机长达 64 位。下述一些参数和字长有关：

(1) 运算精度 字长越长，精度越高，当 k 位 10 进制数与 k 位 2 进制数比较时，有

$$10^k = 2^c$$

两边取对数

$$c/k = \frac{\ln 10}{\ln 2} = 3.3$$

说明要保持 k 位 10 进制数的精度，至少要 3.3 倍 c 位 2 进制数位数。

(2) 指令长度 机器字长决定了指令的信息位长度，适宜的信息位长度保证指令的处理功能。

(3) 存储单元长度 通常存储单元长度等于字长，或字长的整数倍，字长越长，寻址范围越大。

三、运算速度

衡量计算机运算速度的早期方法是每秒执行加法指令的次数，现在通常用等效速度或平均速度。等效速度由各种指令平均执行时间以及相对应的指令运行比例计算得出的，即用加权平均法求得。表 1.2 是根据统计得到的某机各种指令的运算比例及执行时间。

$$\text{等效指令时间 } T = \sum_{i=1}^n f_i t_i = 10.58 \mu\text{s} \quad (\text{毫微秒})$$