

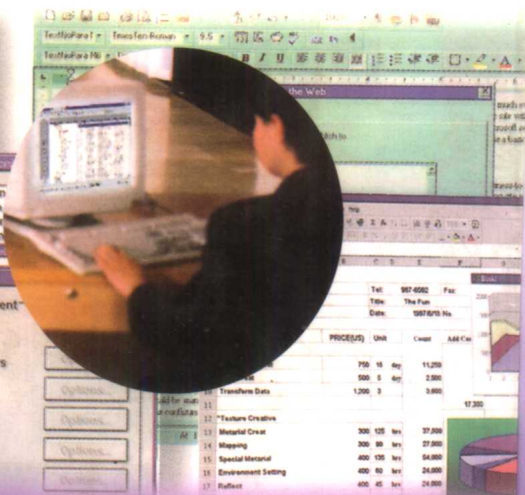
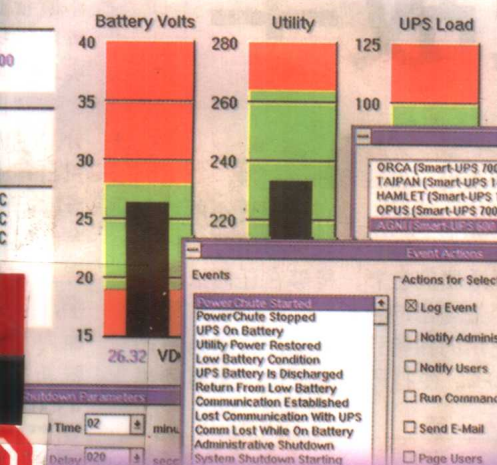


上海“九五”重点图书出版规划项目
全国名校计算机专业核心课程教材

计算机组成和系统结构

胡越明 编 著 杨伟明 主 审

Diagnostics Help



上海科学技术文献出版社

上海“九五”重点图书出版规划项目
全国名校计算机专业核心课程教材

计算机组成和系统结构

胡越明 编著
杨伟民 主审

上海科学技术文献出版社

TP3

内 容 简 介

本书主要介绍计算机组成原理和系统结构的基本概念、设计原理和分析方法。内容以系统介绍基础知识为主，第一章到第七章主要介绍计算机各个组成部件的内容，第八章到第十章主要介绍计算机中采用的各种并行技术，包括在新出现的微处理器和并行计算机中采用的新技术。本书内容丰富，每章配有练习题，可作为计算机专业本科生的教材，也可作为有关专业的研究生以及计算机工程技术人员的参考书。

上海“九五”重点图书出版规划项目
全国名校计算机专业核心课程教材

计算机组成和系统结构

胡越明 编著 杨伟民 主审

*

上海科学技术文献出版社出版发行

(上海市武康路2号 邮政编码 200031)

全国新华书店经销

上海科技文献出版社昆山联营厂印刷

*

开本 850×1168 1/32 印张 16 字数 444 000

1999年3月第1版 1999年3月第1次印刷

印数 1—2 000

ISBN 7-5439-1348-8/T·551

定 价:28.00 元

《科技新书目》492—238

上海“九五”重点图书出版规划项目

全国名校计算机专业核心课程教材

编 辑 委 员 会

顾 问	陈火旺	中国工程院院士	国防科学技术大学
	盛焕烨	教 授	上海交通大学
	顾冠群	中国工程院院士	东南大学

主 任	左孝凌	教 授	上海交通大学
编 委	(按姓氏笔画排序)		
	朱 洪	教 授	复旦大学
	刘瑞挺	教 授	南开大学
	何炎祥	教 授	武汉大学
	招兆铿	教 授	复旦大学
	金廷赞	教 授	浙江大学
	徐洁磐	教 授	南京大学
	谢康林	教 授	上海交通大学

策 划	方金善	副编审	上海科学技术文献出版社
	项暑烽	编 审	上海科学技术文献出版社
	廖 恬	高 工	上海科学技术文献出版社

总 序

近 20 年来, 计算机学科的发展, 促使现代科学迅速崛起。当前计算机学科, 已经成为实时控制、信息处理、通讯、企事业管理, 以及社会生活各个方面无所不在, 无所不用的必不可少的实用工具。计算机技术的应用, 冲破了传统学科的分类, 例如, 经济、艺术、法律、农林、医学等各种学科, 都需依赖于计算机的应用, 除了各自领域的专业实施外, 应用计算机已是各个专业提高效率, 发挥潜能, 促进发展, 与专业息息相关的有效手段。同时, 计算机应用的拓广, 使计算机科学与现代科学技术相互结合, 千丝万缕。当前, 计算机专业教育中面临的最大问题是教学内容, 远远滞后于应用实践。当前, 个人电脑已深入到各行各业, 网络, 多媒体等在各方面应用普遍, 但是在计算机专业教育中, 这些内容还难成主流, 而一些基础课程, 如数据结构、数据库, 以及计算机原理与组成等都还不能涉及前沿, 有些课程内容, 长期滞留在七、八十年代的水平。此外, 计算机发展, 已渗透到很多相关学科, 如通讯、视像、激光、生物、化学、管理等各种相关领域, 计算机教学的内容颇具知识爆炸之势, 因此如何去芜存精, 深厉浅揭是当前计算机教育改革的当务之急。本着上述观点, 近年来, 国内一些院校, 曾对部分课程作了分析、实验、论证。大家认为当前世界计算机发展过程中, 存在四大流行趋势, 即是, 面向对象、并行与分布处理、多媒体结构以及网络运行。如何在教学内容中, 反映这四方面的应用是刻不容缓, 势所必然之事。

为此，我们经过筹划，组织了这套“全国名校计算机专业核心课程教材”（简称“名校教材”）。“名校教材”，并非都是名家，名作，它只是反映了国内一些名校在教学改革中的一些思想、举措。例如，当前计算机高级语言是大学的最基础先行课程。自C语言以后，很多异军突起，先有C++面向对象，又有VB，VC方便简捷，各领一方；网络流行之后，又有JAVA风靡一时，面对基础语言课程，观点各异，仁智相见，难执一词，难成共识。为此有人建议，语言应自概论讲起，分析语法结构，掌握语言构成规律，读通语言文本，那么任何计算机高级语言，都可举一反三，触类旁通。这种以结构规律来学会应用的方法，就是以不变应万变，任其千变万化，万变不离其宗。这种抓住本质，适应瞬息变化的拓展学科方法，在计算机的专业教育中是极具典型和富于启迪的。本丛书中，还有些教材，力图反映当前计算机学科中的最新进展，如数据库、操作系统两书都在详述基础概念基础上分类介绍了面向对象，并行与分布技术，以及网络、多媒体等实施的内容，使读者既能建立深厚基础，又能高屋建瓴，接近最新领域。

“名校教材”，目前已列为上海“九五”重点图书出版规划项目，并得到国内著名院校的教授、专家支持。

这套丛书，立意是着重基础，反映导向，注重实践。希望每种教材，能有创意，能具共鸣，能被接受，能予推广。但是另一方面，我们也意识到，由于各校情况各异，作者观感不一，理解角度有所不同，所以对教材的选用和编著，还不易一致认同，我们只希望这套教材不落窠臼，在反映当前学科动向，促进学以致用等方面，能起到推波助澜作用。希望有关院校能根据本身条件，积极使用，参与讨论，以使各书能够不断修改，日臻完善。

最后我们感谢中国高等学校计算机教育研究会“名校教

材”策划的各种支持，感谢上海科学技术文献出版社为本丛书的立题、报审、出版等所付出的艰辛和努力。

左孝凌

1997. 7

前 言

计算机科学是一门发展异常迅速的学科。近年来,计算机方面的新思想新技术不断涌现,使得计算机学科的教材必须不断更新以赶上这一学科的飞速发展。为满足在计算机组成和系统结构教学方面的需求,本教材在作者近几年本科教学实践的基础上,吸收了国外最新教材的内容后编写而成。

本教材可作为计算机专业本科生的“计算机组成原理”课程的教材,也可以作为“计算机系统结构”课程的教材或者教学参考书,教师可以根据情况进行取舍。由于在“计算机组成原理”与“计算机系统结构”这两门课程的教材中存在许多重复的内容,如在计算机组成原理课程和计算机系统结构课程中都讲述存储器、输入输出设备、总线和指令系统等内容。为了对原有课程进行合理调整,以消除内容上的类同和重复,精简授课内容,提高教学质量,国内外一些高等院校已经将计算机组成课程与计算机系统结构课程合并。本教材主要是作为合并后的“计算机组成与系统结构”课程的教材或教学参考书的。全部内容适合的学时数为 72 到 108 学时。

本教材将原计算机组成原理和系统结构课程的内容有机地结合起来,消除了重复的内容。教材在国内原有有关教材的基础上,吸收了国际上最近教材中的有关内容,反映了计算机学科的最新技术和发展趋势,同时注意与现有教材和相关课程的内容保持衔接,以利于保持教学内容的相对稳定。教材以基本原理的阐述为主,并结合较新的计算机系统实例,介绍了奔腾处理器、高能奔腾处理器等。在第二章介绍数据编码和运算中包含多媒体数据编

码和运算的内容，这一章中压缩了传统教材中有关数据乘除法运算的内容。在指令系统和控制器这两章中，既介绍了传统的计算机结构和设计方法，也介绍了典型 RISC 处理器的组成结构、指令系统与新型控制器的设计方法，这里保留传统计算机结构内容的原因之一是考虑到目前计算机组成实验课程的需要。在流水技术一章中，比较详细地介绍了在近年来新出现的微处理机中采用的新技术，如指令无序执行、动态指令调度、推测执行、超长指令字等。在互连网络和并行计算机系统的介绍中，对并行计算机的互连网络和并行计算机系统结构作了比较全面具体的介绍，反映出国际并行计算机的最新发展概况。本教材中还介绍了有关计算机系统可靠性和容错计算机系统的基本概念和知识。本教材编制了一套新型的习题，习题除注重基础知识的掌握外，还致力于加强对学生的研究和开发能力的培养。

本书的出版得到了左孝凌教授的关心和指导，上海理工大学的杨伟民教授对编写内容作了审定，在此表示感谢。由于计算机技术的迅速发展，计算机教材的编写时间十分紧迫，作者不能有更多的时间对教材中可能存在的问题进行改进。对于教材中的缺点和错误，欢迎广大读者提出意见，以便于作者在今后的版本中不断完善。

胡越明

1998 年 12 月

于上海交通大学计算机系

目 录

第一章 计算机系统概论	(1)
第一节 计算机的基本构成	(1)
第二节 计算机的系统结构	(10)
第三节 计算机的性能评价	(23)
第四节 计算机系统的可靠性	(35)
练 习	(43)
第二章 数据编码和数据运算	(47)
第一节 数据编码	(47)
第二节 定点数加减法运算	(68)
第三节 定点数乘法除法运算	(75)
第四节 浮点数运算和运算器	(81)
第五节 图形数据运算	(89)
练 习	(92)
第三章 存储系统	(96)
第一节 存储器的构成	(96)
第二节 存储系统的构成	(115)
第三节 高速缓冲存储器	(123)
第四节 虚拟存储器	(142)
第五节 存储保护	(155)
练 习	(157)

第四章 指令系统.....	(160)
第一节 指令格式和指令编码	(160)
第二节 指令和数据的寻址方式	(166)
第三节 指令格式的设计	(174)
第四节 指令集	(178)
第五节 指令系统分类	(182)
练 习	(189)
第五章 控制器	(192)
第一节 基本概念	(192)
第二节 指令的执行过程	(198)
第三节 硬布线控制器	(205)
第四节 微程序控制器	(210)
第五节 阵列逻辑控制器	(219)
第六节 中央处理器实例	(223)
练 习	(241)
第六章 系统总线.....	(244)
第一节 总线的基本概念	(244)
第二节 总线控制	(251)
第三节 总线接口	(257)
第四节 总线标准	(263)
练 习	(274)
第七章 输入输出系统	(276)
第一节 输入输出设备的类型	(276)
第二节 基本的输入输出方式	(304)
第三节 中 断	(309)
第四节 直接存储器访问数据传输方式	(318)
第五节 输入输出通道和 I/O 处理机	(324)

第六节 输入输出接口与总线	(330)
练 习	(341)
第八章 流水技术	(345)
第一节 流水线工作原理	(345)
第二节 标量流水技术	(356)
第三节 向量流水技术	(394)
练 习	(408)
第九章 并行计算机的互连网络	(415)
第一节 概 述	(415)
第二节 静态互连网络	(420)
第三节 单级动态互连网络	(426)
第四节 多级动态互连网络	(432)
练 习	(443)
第十章 并行计算机系统	(446)
第一节 阵列并行计算机系统	(446)
第二节 多处理机系统结构	(456)
第三节 分布式计算机系统	(482)
练 习	(494)
参考文献	(495)

第一章 计算机系统概论

电子数字计算机是一种能够自动、高速、精确地进行信息处理的现代化的电子设备，它在存储的程序控制下进行工作。其基本特点是运算速度快、记忆能力强、有逻辑判断能力。计算机最初作为一种计算工具而问世，是人类长期努力奋斗的结果，现已应用于人类生产和生活的各个方面。计算机科学日益成为一门与人们的生活密切相关的重要学科。

第一节 计算机的基本构成

在传统的概念中，电子数字计算机由运算器、存储器、控制器和输入输出设备这几个基本组成部分，如图 1-1 所示。这些硬件与软件一起构成完整的计算机系统。

一、运算器

运算器中有一个算术逻辑单元(ALU)，它执行大多数的运算操作。运算操作包括算术运算和逻辑运算，算术运算对数值数据进行算术计算，如加减乘除四则运算和数据格式的转换。逻辑运算包括按位对数据进行与、或、求反、移位等运算。在进行算术

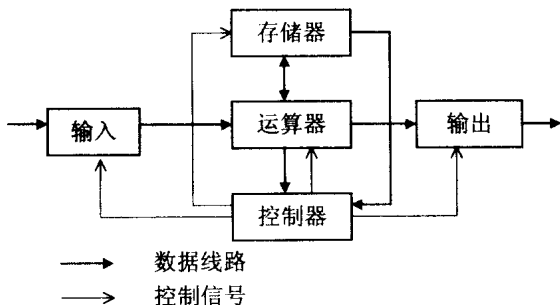


图 1-1 计算机的基本结构

和逻辑运算操作时，需要先将数据从存储器中取出，放到运算器中，在计算完毕后再存放到存储器中。在运算器中有若干个临时存放数据的部件，称为寄存器(register)。寄存器由触发器构成，用于存储最频繁使用的数据，如一些中间运算结果等。除了存放运算结果，寄存器中还可保存运算的状态，如数据是否有进位、是否为零、是否溢出、是否发生了其他错误等，以便于对运算中出现的各种情况进行处理。因此在运算器中一般有多种不同的寄存器。在指定一个寄存器时必须给每个寄存器指定一个编号，称为寄存器号，寄存器号在电路中可用一个二进制代码识别。运算器中完成算术和逻辑运算的单元是一个组合逻辑电路，它一般有两个输入端，可同时输入两个参加运算的操作数。操作数可以是寄存器的输出，也可以来自存储器。

二、存储器

存储器的作用是存储程序和数据。目前，主要的存储介质有半导体电路、磁性记录介质、光存储介质等。存储器中可包含的信息数量称为存储器的容量。半导体介质的存储密度高，存取速度快，但成本较高，在电源断开时存储的内容会丢失；而光、磁等介质则容量大，成本较低，但存取时间长。实现存储器的元器件有半导体存储器芯片、磁盘、磁带、光盘等。为了用最合理的成本实现最大的存储容量，存储器都分成主存储器(primary storage或 main memory)和辅助存储器(secondary storage)。主存储器又称主存或内存，它一般采用半导体存储器件实现，速度较快。程序和数据在运行时主要放在主存中，由于主存储器的成本较高，在计算机中就难以实现很大的容量。为此需要附加一个成本较低、容量更大的辅助存储器。辅助存储器用于存放一些不频繁访问的数据和程序。辅助存储器又称外存，因为它们一般是通过输入输出控制器连接到主存储器的。

计算机处理的信息必须具有某种适当的表示形式。在数字计算机中，信息以二进制数据的代码形式表示。任何数字、文本中的字符或者指令都表示成二进制的编码数据。其中每个二进制数

据代码称为“位”(bit)，它是数据的最小表示单位。

主存储器由大量的数据存储单元构成，每个存储单元可存储一位信息。数据的存储一般是以“字”(word)为单位进行。对不同的计算机，字包含的位数可能是不同的。一个数据字中包含的位数称为该计算机的字长。计算机的字长一般分为 8 位、16 位、32 位和 64 位等。在运算器中进行的数据运算一般也是以字为单位，一个字中的数据运算操作同时完成。大于一个字的数据必须分步完成，因此计算机的字长反映了计算机中并行计算的能力。存储器容量的单位为字节数(byte 或 B)、千字节数(KB)以及兆字节数(MB)等。其中一个字节等于 8 位，若干个字节构成一个字。存储器容量单位的换算关系是：1KB = 1024B，1MB = 1024KB，1GB = 1024 MB。

为了寻找主存储器中的某一个存储单元的位置，需要给不同的存储位置指定一个编号。这个编号就是存储器的地址(address)。主存储器的地址是一个依次编排的数字，也就是一串编号。对存储器中存储位置进行数据写入和读出通过指定一个地址进行。存储位置的指定可以是以字节为单位，也可以是以字为单位，分别称为字节地址和字地址。地址是识别存储器中不同存储单元的唯一标志，不同的存储单元有不同的地址。对于一个能存储 M 个字的存储器，其地址通常编制为从 0 到 $M-1$ 的数表示存储器中连续的存储位置。

存储器的读操作是将存储器中的内容传送到运算部件中，而存储器中的内容不受影响。在进行读操作时，运算部件必须向存储器送一个数据地址以及读操作信号。存储器的写操作是将运算部件中的数据传送到存储器中的某个存储位置存储起来，该存储位置中原来的数据被擦除。在进行写操作时，运算部件必须向存储器送数据地址、数据以及写操作信号。存储在存储器中的数据可以是指令或者操作数据。存储器的数据读操作和写操作统称为存储器的访问。在访问存储器中的数据时，我们需要向存储器提供数据的地址。存储器访问从地址的输送开始，以数据的输送为

结束，完成的各个步骤形成一个周期。一个读数据的存储器访问周期称为读周期，写数据的访问周期则称为写周期。访问存储器中一个字的数据所需的时间称为存储器周期时间。

存储器的访问在控制器的控制下进行。因为程序和数据可存放在存储器中的任何位置，因此存储器访问时应当能够快速方便地访问任何地址中的内容，访问的速度应与存储位置无关。具有这种功能的存储器称为随机访问存储器(random access memories)或称 RAM。计算机的主存储器一般都是随机访问的存储器 RAM。实现 RAM 存储器的元器件主要有静态存储器(SRAM) 芯片、动态存储器(DRAM)芯片。

除了随机访问存储器之外，还有按顺序访问的存储器或者部分顺序访问的存储器，如磁盘和磁带等。对这些存储器的访问时间与数据在存储器中的位置有关。顺序存取存储器是完全串行访问的存储器，如磁带，信息以串行的方式从存储介质的始端开始写入。部分顺序存储器是部分串行访问的存储器，如磁盘和光盘，它介于顺序存取和随机存取之间。对信息的存取包括两个操作：将访问的起始位置移动到任意一个指定的区域，接着对这个区域中的数据进行顺序的存取，前一个操作是随机式的，后一个操作是顺序的。

三、控制器

控制器控制和协调其他单元的工作，它在计算机指令的控制下进行工作。计算机指令(instruction)是一种经过编码的操作命令，它指定需要进行的算术和逻辑操作，支配计算机中信息的传递以及在计算机与输入输出设备之间的信息传递。控制器对指令进行解码，并根据指令生成一系列时序控制信号，控制其他单元的工作。

一条计算机指令的功能是有限的，完成复杂的运算功能需要将多条指令组合起来构成一个指令序列。这样的完成某种功能的指令序列称为程序。程序在执行时存储在主存储器中，控制器通常按指令存储的顺序依次执行，或者根据指令决定执行的顺

序。计算机就是一种在“存储程序”的控制下运行的数字运算设备。数据是编码形式的各种信息，它在计算机中通常作为程序的操作对象。在计算机中，数据可以是整数、浮点数的编码，也可以是声音信息、图像信息的编码，还可以是程序代码等。

运算器和控制器一起构成了计算机的中央处理器 CPU，又称为处理器。通常还把 CPU 和存储器合在一起称为主机。

计算机中的各功能单元一般通过一条或者几条称为总线(bus)的公共线路进行连接。简单的总线是一束不同功能信号线的集合，在一条总线中包括了传输数据的信号线、传输地址的信号线和传输控制信号的信号线等，分别称为数据总线、地址总线和控制总线。不同结构的计算机采用不同的总线连接方式，不同的连接方式导致不同的功能特征和实现成本。

四、输入输出设备

计算机从输入设备获得外部的信息。输入设备将外部信息以一定的数据格式送入系统。输入设备如键盘和鼠标器等，键盘采集操作员的按键操作信息并将这种信息转换成数据编码。鼠标器将位置信息以数字形式输入到计算机中。其他输入设备还有图像扫描仪等。

输出设备与输入设备相对应，其功能是将计算机的处理结果提供给外部。输出设备如显示器、打印机、绘图机等。某些设备同时兼有输入和输出的功能。如电传打字机、数据终端等。

计算机的输入输出设备与计算机的应用密切相关。随着计算机应用领域的不断拓展，计算机输入输出设备的类型也不断丰富和发展。近年来计算机的输入输出设备向着多媒体的方向发展，使得计算机的应用领域开辟了一个新的天地。而随着计算机应用领域的不断扩展，对输入输出设备的类型也不断提出新的要求。新型的输入输出设备如触摸屏、光笔等。

计算机的输入输出设备通常称为外围设备。磁带、磁盘、光盘等外存储器通常也称为外围设备。外围设备通常通过输入输出接口与主机连接。