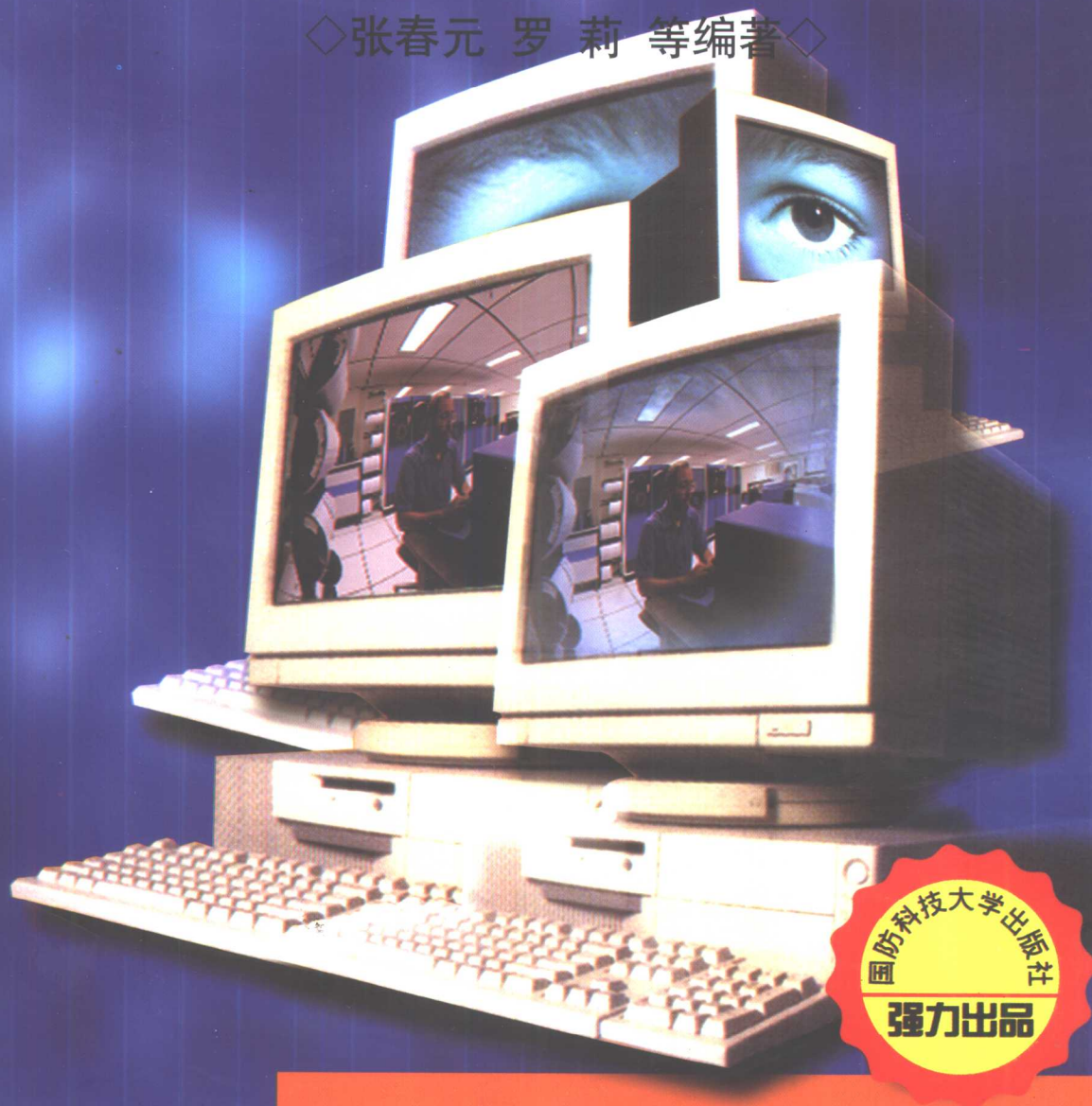


新世纪 理工科研究生入学考试指导丛书

典型题解析与实战模拟

计算机系统结构

◇张春元 罗 莉 等编著◇



新世纪
理工科研究生入学考试指导丛书

计算机系统结构

典型题解析与实战模拟

张春元 罗莉 何鸿君 肖晓强 编著

国防科技大学出版社
·长沙·

内 容 简 介

本书主要面向硕士研究生入学考试人员,也适用于“同等学力人员申请硕士学位计算机科学与技术学科综合水平全国统一考试”。参照全国一些主要重点大学计算机科学与技术专业“计算机系统结构”课程的主要内容,主要以高等教育出版社出版的“面向21世纪课程教材”《计算机体系结构》为背景进行编写,同时参考了国务院学位委员会组织编写《同等学力人员申请硕士学位计算机科学与技术学科综合水平全国统一考试大纲与指南》的要求。全书内容分为两个部分,第一部分(前六章)按复习指南、主要内容、例题、习题及参考答案等四个部分进行组织,第二部分为试题汇编。

本书还可以作为计算机科学与技术专业本科生、研究生和相关专业研究生学习计算机系统结构课程时的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

计算机系统结构典型题解析与实战模拟/张春元等编著. —长沙:国防科技大学出版社, 2001. 6

(新世纪理工科研究生入学考试指导丛书)

ISBN 7-81024-744-1

I. 计… II. 张… III. 计算机体系结构-研究生-入学考试-自学参考资料
IV. TP303

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 029123 号

国防科技大学出版社出版发行

电话: (0731) 4572640 邮政编码: 410073

E-mail: gfkdcbs@ public. cs. hn. cn

责任编辑: 石少平 责任校对: 唐卫威

新华书店总店北京发行所经销

国防科技大学印刷厂印装

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 14.5 字数: 335 千

2001 年 8 月第 1 版第 1 次印刷 印数: 1-4000 册

*

定价: 22.00 元

新世纪理工科研究生入学考试指导丛书

编审委员会

主任委员：

陈火旺（中国工程院院士、全国高校计算机专业教学指导委员会主任委员、国防科技大学教授）

副主任委员：

麦中凡（教育部工科计算机基础课程教学指导委员会副主任委员、北京航空航天大学教授）

侯文永（全国高校计算机专业教学指导委员会委员，上海交通大学电子信息学院副院长、教授）

委 员：

屈婉玲（北京大学计算机系副主任、教授）

王广芳（国防科技大学教授）

陈松乔（中南大学教授）

宁 洪（全国高校计算机专业教学指导委员会委员兼秘书，国防科技大学计算机学院计算机科学与技术系主任、教授）

邹逢兴（国防科技大学教授）

策 划：

潘 生 张 静 石少平



新世纪来临，挑战和机遇共存。作为当代大学生和有志青年，当务之急是积累知识，培养能力，以备将来为祖国为人民服务，实现自身的理想和价值。因而，近年来高校“考研热”不断升温，引人关注。

为满足广大学生考研复习之需，更为了适应培养高素质高水平人才的形势，不少出版社出版了辅导学生深入学习课程的参考书，但多是关于数学、外语、政治等公共基础课的，针对各门专业课的指导书较少，精品更少。鉴于此，国防科技大学出版社经多方调研，全面规划，精心组织作者编写了这套旨在帮助学生学习各门专业课、提高考研应试能力的指导丛书。该套丛书具有以下几大特色：

（一）作者经验丰富，权威性强

本丛书的作者都是经悉心遴选，从事教学、科研、著书多年，某些是在全国有相当影响、所著的教材（或专著）在相应专业使用较广的资深专家教授。他们都是高校硕士或博士指导教师。他们在编写这套丛书时废寝忘食，躬行写作，将自己多年积累的经验、体会凝聚在字里行间，奉献给广大的读者，相信他们的辛勤劳动成果必然会对大家学习有关课程有极大帮助，这正是我们丛书编审委员会最感欣慰的。

（二）题目收集广泛，针对性强

这套丛书紧扣国家教育部制定的课程教学大纲和研究生入学考试要求，合理安排各书内容，条理清晰，详略分明，深入浅出，释疑去惑，并广泛搜集近年全国 20

余所重点高校或研究所考研试卷，加以分析、归纳、提高，使读者既能把握各门专业课程的全貌，又能抓住主脉络，领会其中的主要原理、方法，真正提高能力。

（三）突出实战模拟，操作性强

这套丛书中每本书分解析篇和实战篇。其中解析篇按章分提要、例题、习题、习题解答，分别讲清理论、分析各种解题技巧、提供练习和检验机会，使学生全面掌握课程的概念、原理、方法和技巧，学深、学透。实战篇，提供几份模拟题及其参考答案、多份重点高校近年考研试卷，供学生在课程考试或考研的前夕实景备战，以巩固复习成果，丰富考场经验，增强自信心。这样的结构安排极利于学生使用好本丛书。

国防科技大学出版社、丛书编审委员会和编写者共同努力，辛勤劳动，所有的书稿均经多次审定、修改，使这套丛书达到了较高的质量水平，相信本丛书必能为在书海中遨游的学子指点迷津，助他们踏上成功之路。

本丛书除了适合高校学生学习使用外，对广大的自学者、相关专业工程技术人员亦会有所裨益。

丛书编审委员会邀我为该书作序，谨寄数言，既是对这套丛书的郑重推荐，也是对该套丛书编写者的敬意。

陳大旺

2001年5月

前言

本书主要面向硕士研究生考试人员，包括研究生入学考试和“同等学力人员申请硕士学位计算机科学与技术学科综合水平全国统一考试”中“计算机系统结构”课程考试。主要作为考试复习用书，也可以作为计算机科学与技术专业本科生、研究生和相关专业研究生学习计算机系统结构课程时的参考用书。

“计算机系统结构”既是计算机科学与技术学科的一个重要方向，又是一门重要的专业课程，主要研究计算机系统的顶层设计技术，涉及较多的计算机学科的知识。在计算机科学与技术学科中，计算机系统结构是一个理论性和实践性都很强的研究方向，由于多种原因，无论是本科生还是研究生都认为学习的难度较大，而且普遍认为内容比较抽象，不易掌握。为了帮助学生更好地掌握计算机系统结构课程学习的内容，掌握计算机系统结构习题解答的思路，顺利通过硕士研究生入学考试，我们编写了这本参考书。

参照全国一些主要重点大学计算机科学与技术专业“计算机系统结构”课程的主要内容，主要内容以张晨曦主编的高等教育出版社出版的“面向 21 世纪课程教材”《计算机体系结构》为依据，同时参考了国务院学位委员会组织编写《同等学力人员申请硕士学位计算机科学与技术学科综合水平全国统一考试大纲与指南》的要求。全书内容分为两部分，第一部分共六章，第一章是计算机体系结构的基本概念，第二章是计算机指令集结构的设计，第三章是存储系统设计，第四章是流水线计算机设计技术，第五章是输入输出系统，第六章是多处理机；第二部分为试题汇编。

为了便于学习，前六章按复习指南、主要内容、例题、习题及参考答案等四个部分进行组织。复习指南根据考试大纲的要求，对每一章学习内容进行总结，理清学习的重点、要点、难点和范围。主要内容包括每一章的基本理论、基本概念、基本公

式、基本方法等内容摘要，引导学生对每一章的主要内容进行总结，帮助学生自我检查每一章基本内容的掌握情况。例题对课程中的典型习题进行指导性分析，重在题目类型、解题方法、解题思路和解题要点，学生也可以根据这一部分的内容对照检查自己的学习情况，检查自己计算机系统结构的解题能力。习题及参考答案收集了较多的练习题，这些习题不但可以供学生使用，也可以提供给教师作为教学的参考材料使用，其中部分习题提供了参考答案。

本书是计算机系统结构教学小组多年教学工作的部分总结，是集体智慧的结晶。

由于时间仓促，作者水平有限，书中的错误在所难免，敬请读者批评指正。

作者

2001 年 5 月



录

解 析 篇

第一章 计算机体系结构的基本概念

1.1 复习指南	(1)
1.2 主要内容	(2)
1.3 例题	(15)
1.4 习题及参考答案	(16)

第二章 计算机指令集结构的设计

2.1 复习指南	(22)
2.2 主要内容	(22)
2.3 例题	(41)
2.4 习题及参考答案	(44)

第三章 存储系统设计

3.1 复习指南	(51)
3.2 主要内容	(52)
3.3 例题	(83)
3.4 习题及参考答案	(93)

第四章 流水线技术

4.1 复习指南	(102)
4.2 主要内容	(103)
4.3 例题	(131)
4.4 习题及参考答案	(146)

第五章 输入输出系统

5.1 复习指南	(160)
5.2 主要内容	(160)
5.3 例题	(167)
5.4 习题及参考答案	(171)

第六章 多计算机

6.1 复习指南	(176)
6.2 主要内容	(176)
6.3 例题	(186)
6.4 习题及参考答案	(187)

实 战 篇

第一部分 硕士研究生入学考试模拟试卷

1. 模拟试卷 (1)	(190)
2. 模拟试卷 (1) 参考答案	(191)
3. 模拟试卷 (2)	(194)
4. 模拟试卷 (2) 参考答案	(196)

第二部分 硕士研究生入学考试典型试卷

1. 国防科技大学 1998 年硕士研究生入学考试试卷	(199)
2. 国防科技大学 2000 年硕士研究生入学考试试卷	(204)
3. 清华大学 1999 年硕士研究生入学考试试卷	(208)
4. 中国科学院软件研究所 1999 年硕士研究生入学考试 试卷	(211)
5. 上海交通大学 1999 年硕士研究生入学考试试卷	(216)
6. 上海交通大学 2000 年硕士研究生入学考试试卷	(219)

参考文献	(221)
------------	-------

第一章

计算机体系结构的基本概念

1.1 复习指南

本章需要掌握的内容和概念主要有：

- 计算机系统层次结构；
- 计算机系统结构；
- 计算机组成；
- 计算机实现；
- 计算机系统结构、组成与实现三者的关系；
- 透明性；
- Amdahl 定律；
- CPU 性能公式；
- 程序局部性原理；
- 计算机性能的若干定义；
- 系统结构分类；
- 冯·诺依曼计算机特征；
- 计算机系统结构的发展；
- 价格、应用、VLSI 和算法对系统结构的影响。

本章的主要应用问题有：

- 性能公式的计算；
- 性能公式在具体应用问题中的使用；
- Amdahl 定律的计算。

1.2 主要内容

一、计算机体系结构的概念

(一) 计算机系统中的层次概念

计算机语言是这样由低级向高级发展:高一级语言的语句相对于低级语言,其功能更强,更便于应用,但又都以低级语言为基础的。我们一般从计算机语言的角度,把计算机系统按功能划分成多级层次结构。每一层以一种不同的语言为特征。计算机语言可以说是一种虚拟的计算机系统。

计算机语言可分成一系列的层次(level)或级,最低层语言的功能最简单,最高层语言的功能最强。

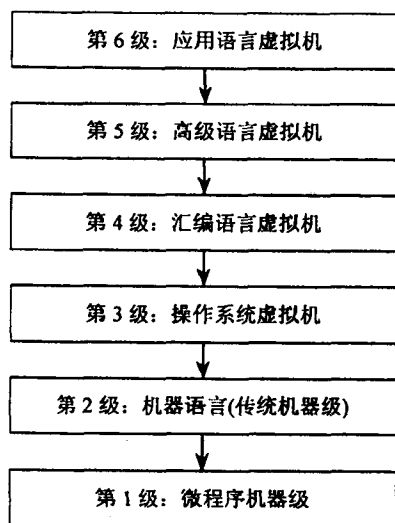


图 1.1 计算机系统的多级层次结构

现代计算机系统的层次结构如图 1.1 所示,图中第 4 级以上完全由软件实现。

由软件实现的机器称为虚拟机器(virtual machine),以区别于由硬件或固件实现的实际机器。

第 1 级是微程序机器级。这级的机器语言是微指令集,程序员用微指令编写的微程序一般是由硬件解释实现的。

第 2 级是传统机器级。这级的机器语言是该机的指令集,程序员用机器指令集编写的程序可以由微程序进行解释。这个解释程序运行在第 1 级上。

第 3 级是操作系统虚拟机。从操作系统的基本功能来看,一方面它要直接管理传统机器中的软硬件资源,另一方面它又是传统机器的延伸。

第4级是汇编语言虚拟机。这级的机器语言是汇编语言。完成汇编语言翻译的程序就叫做汇编程序。

第5级是高级语言虚拟机。这级的机器语言就是各种高级语言,目前高级语言已达数百种。

第6级是应用语言虚拟机。这一级是为使计算机满足某种用途而专门设计的,因此这一级语言就是各种面向问题的应用语言。

由微程序解释指令集又称作仿真(emulation)。可以通过仿真在一台机器上实现多种指令集。

层次结构中,通常的第1、2和3级是用解释(interpretation)方法实现的,而第4级或更高级则经常是用翻译(translation)方法实现。

翻译和解释都是以执行一串N级指令来实现N+1级指令,但二者仍存在着差别:

翻译技术是先把N+1级程序全部变换成N级程序后,再去执行新产生的N级程序,在执行过程中N+1级程序不再被访问。而解释技术是每当一条N+1级指令被译码后,就直接去执行一串等效的N级指令,然后再去取下一条N+1级的指令,依此重复进行。

(二) 计算机体系结构

在计算机技术中,对本来是存在的事物或属性,但从某种角度看又好像不存在的概念称为透明性(transparency)。

经典的定义是1964年C. M. Amdahl在介绍IBM 360系统时提出:计算机体系结构是程序员所看到的计算机的属性,即概念性结构与功能特性。

Amdahl提出的体系结构是指传统机器级的体系结构,即一般所说的机器语言程序员所看到的传统机器级所具有的属性。这些属性包含其概念性结构和功能特性两个方面。目前,对于通用寄存器型机器,这些属性主要是指:

- 数据表示(硬件能直接辨认和处理的数据类型);
- 寻址规则(包括最小寻址单元、寻址方式及其表示);
- 寄存器定义(包括各种寄存器的定义、数量和使用方式);
- 指令集(包括机器指令的操作类型和格式、指令间的排序和控制机构等);
- 中断系统(中断的类型和中断响应硬件的功能等);
- 机器工作状态的定义和切换(如管态和目态等);
- 存储系统(主存容量、程序员可用的最大存储容量等);
- 信息保护(包括信息保护方式和硬件对信息保护的支持);
- I/O结构(包括I/O联结方式、处理机/存储器与I/O设备间数据传送的方式和格式以及I/O操作的状态等);等等。

经典计算机体系结构概念的实质是计算机系统中软硬件界面的确定,其界面之上的是软件的功能,界面之下的是硬件和固件的功能。

目前我们经常使用的是广义的计算机体系结构的概念,它除了包括经典的计算机体系结构的概念范畴,还包括了对计算机组成和计算机实现技术的研究。

(三) 计算机组成和计算机实现技术

计算机组成是计算机体系结构的逻辑实现,而计算机实现是计算机组成的物理实现。

系列机就是指在一个厂家内生产的具有相同的体系结构,但具有不同组成和实现的一系列不同型号的机器。它们各有不同的性能和价格,采用不同的组成和实现技术,但从程序设计者所看到的机器属性却是相同的。

软件兼容(software compatibility),即同一个软件可以不加修改地运行于体系结构相同的各档机器,而且它们所获得的结果一样,差别只在于有不同的运行时间。

我们把不同厂家生产的具有相同体系结构的计算机称为兼容机(compatible machine)。兼容机一方面由于采用新的计算机组成和实现技术,因此具有较高的性能价格比;另一方面又可能对原有的体系结构进行某种扩充,使它具有更强的功能,在市场上有较强的竞争能力。

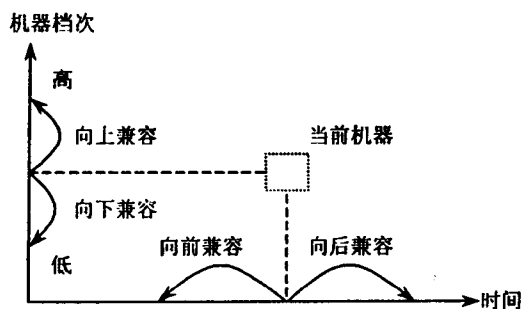


图 1.2 兼容性示意图

系列机的软件兼容还有向上兼容、向下兼容、向前兼容和向后兼容之分。所谓向上(下)兼容指的是按某档机器编制的程序,不加修改就能运行于比它高(低)档的机器。所谓向前(后)兼容指的是按某个时期投入市场的某种型号机器编制的程序,不加修改地就能运行于在它之前(后)投入市场的机器。图 1.2 形象地说明了这些概念。

二、计算机体系结构的发展

计算机体系结构研究计算机系统中软、硬件的界面,即研究哪些功能由软件完成,哪些功能由硬件完成。

软件和硬件在逻辑功能上是等效的,就是说由软件实现的功能在原理上可以由硬/固件实现。同样,由硬件实现的功能原理上也可以由软件的模拟方法来实现。但是,软件和硬件在性能上是不等效的。因此,对于计算机系统软硬件功能分配应保证在满足应用的前提下,充分利用硬件和器件技术的发展,使系统达到较高的性能价格比。

(一) 存储程序计算机体系结构及其发展

存储程序计算机又称为冯·诺依曼结构计算机,其结构如图 1.3 所示。

1. 存储程序计算机在体系结构上的主要特点

(1) 机器以运算器为中心。输入/输出设备与存储器之间的数据传送都经过运算器;存储器、输入/输出设备的操作以及它们之间的联系都由控制器集中控制。

(2) 采用存储程序原理。程序(指令)和数据放在同一存储器中,且没有对两者加以区分。指令和数据一样可以送到运算器进行运算,即由指令组成的程序自身是可以修改的。

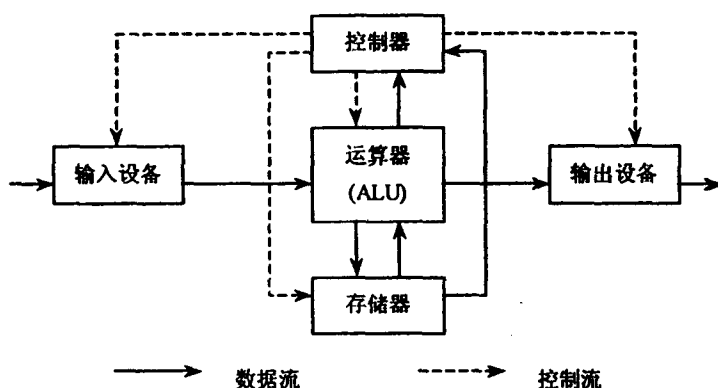


图 1.3 存储程序机器的结构

(3)存储器是按地址访问的线性编址的空间。每个单元的位数是相同且固定的,称为存储器编址单位。

(4)控制流由指令流产生。指令在存储器中是按其执行顺序存储,由指令计数器指明每条指令所在单元的地址。每执行完一条指令,程序计数器一般是顺序递增。虽然执行顺序可以根据运算结果改变,但是解题算法仍然是、也只能是顺序型的。

(5)指令由操作码和地址码组成。操作码指明本指令的操作类型,地址码指明操作数和操作结果的地址。操作数的类型(定点、浮点、或十进制数)由操作码决定,操作数本身不能判定是何种数据类型。

(6)数据以二进制编码表示,采用二进制运算。它主要面向数值计算和数据处理。

2. 存储程序计算机体系结构的改进

(1)分布的 I/O 处理能力。人们先后提出各种输入输出方式,如图 1.4 所示,从而引起计算机概念性结构发生了相应的变化。

(2)保护的存储器空间。这是通过存储管理硬件的支持,由操作系统软件实现的,目前几乎所有支持多任务的计算机操作系统都实现了这种管理。

(3)存储器组织结构的发展。按内容访问的相联存储器 CAM(Content Addressed Memory),把查找、比较的操作交由存储器硬件完成。为了减少程序运行过程中访问

存储器的次数,采用了通用寄存器的概念。为了进一步减少访问存储器的次数和提高存储系统的速度,人们又提出了在 CPU 和主存之间设置高速缓冲存储器 Cache。

(4)并行处理技术。通过改进 CPU 的组成,把若干条指令的操作重叠起来;或者在体系结构上把本来可并行的计算机的题目使之能并行计算,如对向量的计算就可以用一条向量指令并行地对向量的各个元素进行相同的运算。更进一步,如果把一个作业(程序)划分成能并行执行的多个任务(程序段),把每个任务分配给一个处理机执行,则构成了多

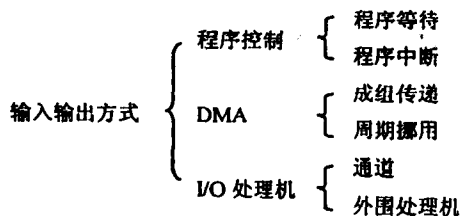


图 1.4 各种输入/输出方式

机并行处理系统。

(5)指令集的发展。20 世纪 70 到 80 年代应用的是复杂指令集计算机 CISC(Complex Instruction Set Computer)。80 年代后应用的是精简指令集计算机 RISC。RISC 的技术思想已经成为当代计算机设计的基础技术之一。

(6)寻址技术的发展。早期计算机地址码是直接指出操作数地址的(直接寻址)。现代计算机指令地址码部件一般给出的是形式地址,而由各种寻址方式,按照规定的算法把形式地址变换成访问主存的有效地址。采用 RISC 技术的计算机一般只有常用的几种寻址方式。

(二) 计算机的分代和分型

一般我们认为计算机到目前为止已经发展了五代。这五代计算机分别具有明显的器件、体系结构技术和软件技术的特征。表 1-1 列出了其中的典型特征。

表 1-1 五代计算机的特征

第一代 (1945 ~ 1954)	电子管和继电器	存储程序计算机、程序控制 I/O	机器语言和汇编语言	普林斯顿 ISA、ENIAC、IBM701
第二代 (1955 ~ 1964)	晶体管、磁芯、印刷电路	浮点数据表示、寻址技术、中断、I/O 处理机	高级语言和编译、批处理监控系统	Univac LARC、CDC1604、IBM7030
第三代 (1965 ~ 1974)	SSI 和 MSI、多层印刷电路、微程序	流水线、Cache、先行处理、系列计算机	多道程序和分时操作系统	IBM360/370、CDC6600/7600、DEC PDP-8
第四代 (1974 ~ 1990)	LSI 和 VLSI、半导体存储器	向量处理、分布式存储器	并行与分布处理	Cray-1、IBM 3090、DEC VAX9000、Convax-1
第五代 (1991 ~)	高性能微处理器、高密度电路	超标量、超流水、SMP、MP、MPP	大规模、可扩展并行与分布处理	SGI Cray T3E、IBM SP2、DEC AlphaServer8400

计算机可以根据价格分为五个档次,包括巨型机(supercomputer)、大型机(mainframe)、中型机、小型机(minicomputer)和微型机(microcomputer)。

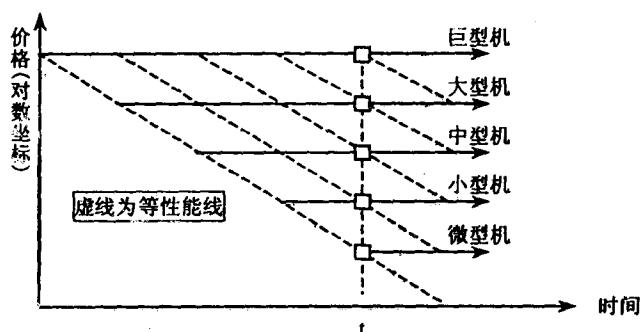


图 1.5 计算机性能下移示意图

概括地分析 40 多年来计算机体系结构的进展,我们可以发现,计算机体系结构的成就不只是表现在巨、大型机上,而且在中、小、微型计算机中也愈来愈多地被采用,同时还包括技术和性能的“下移”。图 1.5 给出了计算机系统性能随时间“下移”的示意。

(三) 应用需求的发展

计算机的设计受两方面因素的影响:一方面是计算机现在和未来的使用方法,另一方面是下层的实现技术。

软件技术最重要的发展趋势之一就是程序及数据所使用存储器容量的不断增大:程序所需的存储器容量平均每年递增 1.5% ~ 2%,也就是说计算机的地址位以每年 1/2 ~ 1 位的速度递增。

上述现象是两方面原因造成:一方面是程序的需要,另一方面是 DRAM 技术的发展。

在过去 20 年里,软件技术的另一重要发展趋势是标准的高级语言广泛使用,在应用领域取代了汇编语言。

(四) 计算机实现技术的发展

计算机设计者要注意三种实现技术的变化发展,这些技术对于当代计算机的发展非常关键。

- 逻辑电路。综合起来看,单芯片上的晶体管数量以每年 60% ~ 80% 的速率增长。
- 半导体 DRAM(动态随机访问存储器)。芯片密度每年增长速率略低于 60%,存储周期时间大约是每 10 年减少 1/3。
- 磁盘。最近磁盘密度以每年约 50% 的速度增长,几乎每三年增长 4 倍。磁盘存取时间在过去 10 年内下降 1/3。

(五) 体系结构的生命周期

一种新的体系结构的诞生,往往以硬件为标志,它的发展和成熟,是以配套的系统软件和应用为标志的。一旦这种体系结构不能够满足应用的需要,这种体系结构就该消亡了,新的体系结构也就必然诞生了。

一般情况下,从硬件成熟到系统软件(如操作系统)成熟大约需要 5 ~ 7 年的时间,从系统软件成熟到应用软件成熟,大约也需要 5 ~ 7 年时间,再过 5 ~ 7 年的时间,这种体系结构就不会作为主流体系结构存在了,新的体系结构将替代它。一个计算机体系结构,从产生到消亡,大致需要 15 ~ 20 年的时间,如图 1.6 所示。其实新旧体系结构在时间上总是有重叠的。

三、计算机体系结构中并行性的发展

研究计算机体系结构的目的是提高计算机系统的性能。开发计算机系统的并行性,是计算机体系结构的重要研究内容之一。本小节首先叙述体系结构中的并行性概念,然后从单机系统和多机系统两个方面对并行性的发展进行归纳,以期认识计算机体系结构中并行性发展的全貌。

(一) 并行性概念

并行性(parallelism)是指在同一时刻或是同一时间间隔内完成两种或两种以上性质相同或不相同的工作。只要时间上互相重叠,就存在并行性。