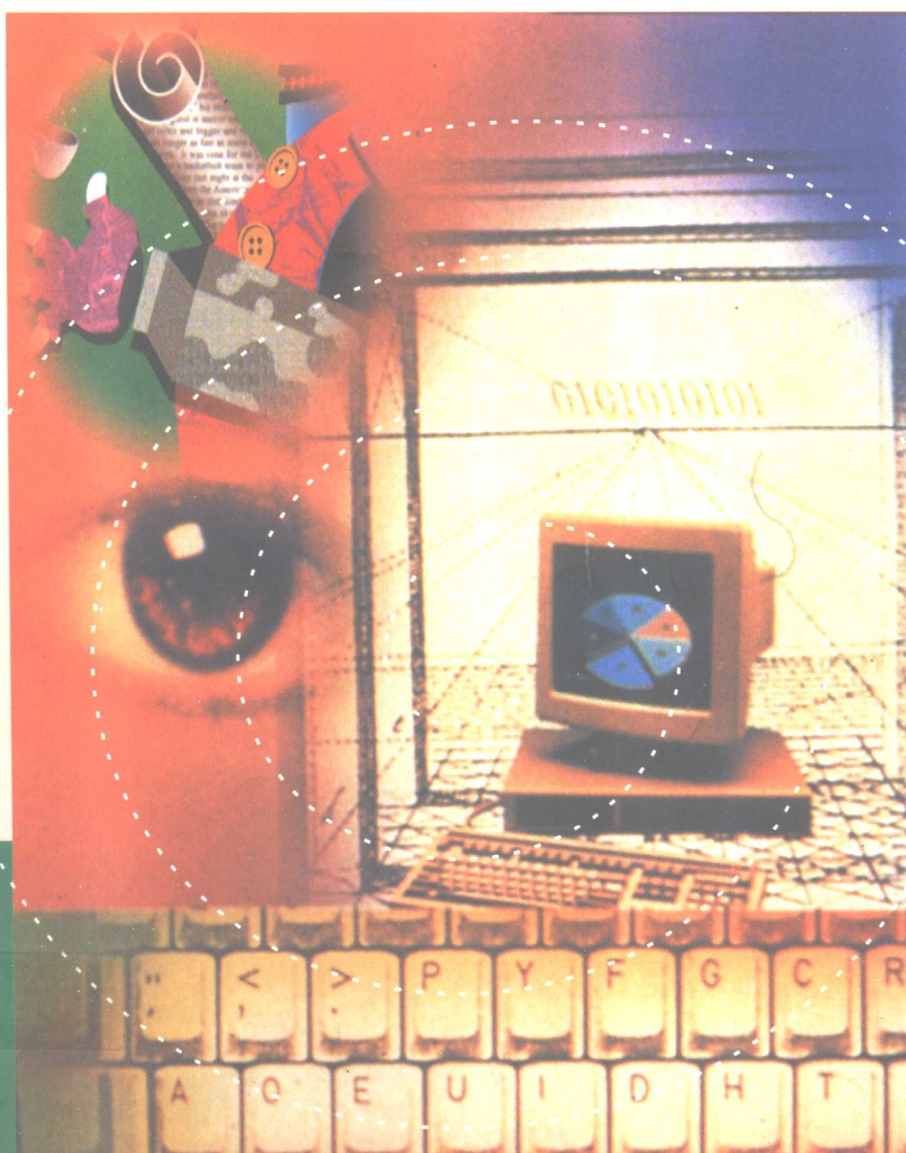


计算机系统结构

——奔腾 PC

张昆藏 编著



科学出版社

计算机系统结构——奔腾 PC

张昆藏 编 著

科学出版社

1999

内 容 简 介

本书以 Pentium PC 为典型实例,介绍当代计算机系统结构的基本概念、原理及实现技术。全书共 9 章,包括绪论、cache 与主存储器、虚拟存储器、指令流水线、浮点运算和运算流水线、Pentium CPU、主板总线系统、外围设备及 I/O 总线、新一代 Pentium PC。本书注重理论与实际的结合,详细阐述了一些新概念、新技术并同时给出它们在 Pentium PC 的应用实例。本书内容新颖,以普通 Pentium (P54C) 为基础组织材料,也介绍了 Pentium MMX (P55C), Pentium Pro, Pentium II, 并给出新一代 Pentium PC 系统结构。

本书可作为高等院校计算机相关专业的教材。对于从事个人计算机/工作站开发与应用的广大技术人员,本书亦是具有指导意义的理论性与实用性相结合的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机系统结构——奔腾 PC/张昆藏 编著. —北京:科学出版社,
1999. 3
ISBN 7-03-006148-9

I. 计… II. 张… III. 电子计算机, 奔腾 PC-系统结构
IV. TP303

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 19870 号

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

北京双青印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1999 年 3 月第 一 版	开本: 787×1092 1/16
1999 年 3 月第一次印刷	印张: 13 1/4
印数: 1-3 500	字数: 301 000

定价: 18.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

前 言

自第一台电子计算机问世,半个多世纪已经过去了。半导体集成电路的迅速发展和计算机的应用广泛深入到社会生活各个领域,推动着计算机工业高速发展。

这种高速发展反映在计算机系统结构学科领域中,有两点变化是非常引人注目的。一是七、八十年代大中型计算机所采用的主要系统结构技术,如虚拟存储、高速缓存、流水线、超标量和超流水、向量运算、I/O 通道等均已纳入个人计算机/工作站中。而且,一些巨型机已是微处理器阵列构成的高度并行机器。因此,进入 90 年代以来,传统的巨、大、中、小、微的计算机分类,只有性能高低、功能多少、规模大小之分,而技术的界线正在消失。二是个人计算机/工作站正在逐渐占据计算机工业的主导地位。从 1992 年起,个人计算机/工作站已占有计算机市场一半以上的份额。主要为个人计算机/工作站提供芯片和操作系统的 Intel 公司和 Microsoft 公司,已分别成为世界上最大的计算机芯片厂商和世界上最大的软件厂商。旺盛的市场需求、雄厚的资本和技术优势,已使个人计算机/工作站率先实现了多媒体等先进技术,今后也会带动计算机系统结构的全面革新与变化。

面对这种新局面,广大的个人计算机/工作站用户需要深入理解他们赖以编程的平台系统结构;广大的高校师生也需要有既能结合个人计算机/工作站实际又能相对完整地、系统地介绍计算机系统结构的新颖教材。本书的编写与出版,就是满足这些需要的一种尝试和努力。

全书共 9 章,作为教材可在 60~70 学时内讲授完毕。下面对各章的基本内容和重点予以导读:

第 1 章:绪论。使读者了解计算机系统结构的任务以及与计算机组成、实现的联系和区别。以 Wintel(Windows + Intel)平台介绍个人计算机软、硬件基本组成,以 RISC 技术特征介绍个人计算机/工作站的系统结构发展趋势。

第 2 章:cache 与主存储器。在建立存储层次结构概念后,重点介绍 cache(高速缓存)的工作原理和实现技术,并介绍了主存的交错组织和先进的 DRAM 芯片。本章亦给出 Pentium PC 的 cache 与主存结构。

第 3 章:虚拟存储器。结合操作系统知识介绍了虚拟存储器的工作原理及实现技术。重点在于 Pentium CPU 的实模式、保护模式和 V86 模式的三种工作模式介绍。第 2,3 章为一个学习单元。

第 4 章:指令流水线。在建立流水线模型之后,重点介绍基本指令流水线和超标量指令流水线,其中的转移预测技术、数据相关性问题及处理策略以及指令发射与完成策略等都极为重要。本章亦给出 Pentium CPU 的 U,V 流水线结构。

第 5 章:浮点运算和运算流水线。本章介绍了 IEEE 754 浮点标准和 Pentium CPU 的浮点运算器。本章介绍的运算流水线与存储流水线、指令流水线等一起,将使流水线知识完整化。本章的非线性流水线调度一节内容,已超出教学大纲范围,标以 * 号作为选读内容。

第6章:Pentium CPU。及时对前面各章有关 Pentium CPU 的知识予以总结,介绍它的指令系统、寄存器组织和中断机制,并给出 Pentium 处理器的结构框图。第4,5,6章为一个学习单元。

第7章:主板总线系统。介绍了 Pentium PC 的总线层次结构之后,分别介绍了当代总线 PCI、遗留总线 ISA 和未来总线 Futurebus⁺,三类总线标准及其定时协议和仲裁方式。其中,应以 PCI 总线为学习重点。

第8章:外围设备及 I/O 总线。根据对计算机系统结构有重要影响的原则,本章有选择地介绍了硬、软磁盘、CD-ROM、图形显示器等外围设备及其适配器。其中,阐述了 AGP(加速图形端口)这一当前热门技术话题。然后介绍了先进的 I/O 总线:并行的 SCSI 和串行的 P1394。第7,8章为一个学习单元。

第9章:新一代 Pentium PC。前面各章有关 Pentium CPU 的介绍是基于普通 Pentium(P54C),本章介绍了 Pentium MMX(P55C),Pentium Pro,Pentium II,以及它们采用的多媒体扩展技术和动态执行技术,最后给出新型的 Pentium II 的 PC 系统结构框图。同第1章一样,本章也是一个单独的学习单元。

作为一名高校教师,笔者已在教育战线上耕耘卅余载,也曾在接口技术、计算机网络、操作系统等方面发表过一些文章和著作。其中值得提及的是,1993年编写、1994年由清华大学出版社出版发行的《操作系统原理 DOS 篇》一书。当时 Windows 95 尚未推出,占据个人计算机操作系统主流位置的是 MS-DOS 以及它所支撑的 Windows 3.x。那本书的编写原则是,站在操作系统理论的高度上,详细分析 MS-DOS 内部结构和用户界面,并实事求是地论述 MS-DOS 的特色与不足。结果该书获得很大成功,四年来重印了8次,总发行量已达8万册,台湾儒林图书公司还出版发行了繁体字版。今年,该书的第二版将问世。

《操作系统原理 DOS 篇》一书的成功,说明广大读者迫切需要将计算机科学理论与当代实际应用紧密结合的新书。需求就是动力,在科学出版社的热情支持下,笔者萌生了将近年来在计算机系统结构教学与科研方面的成果予以总结提高,编写本书的愿望。经过一年多的努力,《计算机系统结构——奔腾 PC》一书与读者见面了。然而本书也有不足之处,例如,Intel 430,440 系列核心芯片组在 Pentium PC 系统结构中起着至关重要的作用,但是由于厂家的技术封锁,我们查询不到它的内部组成技术资料;又如,本打算将 Intel P7 处理器与其他公司的 64 位处理器一起作为第十章内容,以期深入介绍 RISC 技术并将有关知识完整化,但 P7 迟至今日仍未推出;再如,作为教材,各章应附有习题,但一年的熬灯夜战精力实所不支,也只得暂且作罢。尽管如此,笔者本着对读者负责的宗旨,尽心尽力精心编写,力图使本书具有将相对完整并系统的计算机系统结构理论与 Pentium PC 的实际应用相结合的特色。但愿广大读者能从中获得启迪和帮助。

本书在编写过程中,西蒙-舒斯特图书公司北京代表处首席代表姜峰先生、北京科海培训中心夏非彼女士都给予了大力支持和帮助,在此,一并致以衷心的感谢。

限于作者的经验与水平,书中错误和不当之处敬请读者批评指正。

张昆藏

1998年7月

目 录

前 言

1 绪 论	(1)
1.1 计算机系统结构基本概念.....	(1)
1.1.1 计算机系统结构、组成与实现.....	(1)
1.1.2 计算机系统结构的发展与分类.....	(2)
1.1.3 个人计算机和工作站.....	(5)
1.2 Wintel 平台.....	(7)
1.2.1 Intel x86 处理器系列	(7)
1.2.2 Windows 操作系统	(9)
1.3 CISC 与 RISC 结构	(13)
1.3.1 RISC 的提出	(13)
1.3.2 RISC 的特征	(15)
1.3.3 RISC 与 CISC 的竞争	(18)
2 cache 与主存储器	(20)
2.1 cache 工作原理	(21)
2.2 cache 组织结构	(22)
2.2.1 映射方式.....	(22)
2.2.2 替换策略.....	(27)
2.2.3 实例:80486 处理器片内 cache	(28)
2.3 写策略与一致性要求.....	(29)
2.3.1 cache 写策略	(29)
2.3.2 MESI 协议	(30)
2.4 Pentium PC 的 cache	(33)
2.4.1 Pentium 级 1 cache 的组织结构	(33)
2.4.2 Pentium 级 1 cache 的 MESI 协议	(35)
2.5 主存储器的组织.....	(37)
2.5.1 交错存储器组织.....	(38)
2.5.2 先进的 DRAM 芯片	(41)
2.5.3 Pentium PC 的主存储器	(43)
3 虚拟存储器	(45)
3.1 虚拟存储技术导论.....	(45)
3.1.1 请求页式管理.....	(45)
3.1.2 虚拟存储器模型.....	(47)
3.1.3 段页式管理.....	(47)

3.2 地址转换机制	(48)
3.2.1 直接映象	(48)
3.2.2 倒置映象	(50)
3.3 页面替换策略	(52)
3.4 Pentium 的虚拟存储器	(54)
3.4.1 Pentium 的工作模式	(54)
3.4.2 保护模式的分段地址转换	(56)
3.4.3 保护模式的分页地址转换	(58)
3.5 存储保护	(60)
3.5.1 特权级保护	(61)
3.5.2 存储区域保护	(62)
4 指令流水线	(65)
4.1 流水线导论	(65)
4.1.1 流水线结构	(65)
4.1.2 流水线性能分析	(66)
4.1.3 流水线类型	(67)
4.2 基本指令流水线	(68)
4.2.1 指令流水线机制	(68)
4.2.2 转移处理技术	(70)
4.2.3 数据冒险及其处理技术	(75)
4.3 超标量指令流水线	(79)
4.3.1 超标量流水线与超流水线	(80)
4.3.2 超标量流水线的发射策略	(81)
4.3.3 实例:88110 处理器的超标量流水线	(86)
4.4 Pentium 的超标量流水线	(88)
4.4.1 U,V 指令流水线	(88)
4.4.2 使用 BTB 的转移预测	(92)
5 浮点运算和运算流水线	(94)
5.1 IEEE 754 浮点表示	(94)
5.1.1 浮点表示法	(94)
5.1.2 IEEE 754 标准	(96)
5.2 浮点运算	(97)
5.2.1 浮点加减乘除运算	(97)
5.2.2 80x87 浮点运算器	(100)
5.3 运算流水线	(101)
5.3.1 定点运算流水线	(102)
5.3.2 浮点运算流水线	(103)
5.4* 非线性流水线调度	(105)
5.4.1 非线性静态流水线调度	(105)

5.4.2 非线性动态流水线调度	(108)
6 Pentium CPU	(111)
6.1 Pentium 性能和结构	(111)
6.1.1 Pentium 性能及指标	(111)
6.1.2 Pentium 结构框图	(113)
6.2 Pentium 指令系统	(116)
6.2.1 寻址方式	(116)
6.2.2 指令格式	(117)
6.2.3 指令类型	(118)
6.3 Pentium 寄存器组织	(121)
6.3.1 基本结构寄存器组	(122)
6.3.2 系统级寄存器组	(124)
6.4 Pentium 中断机制	(126)
6.4.1 中断类型	(126)
6.4.2 中断处理	(128)
7 主板总线系统	(130)
7.1 总线技术导论	(130)
7.1.1 总线组成	(130)
7.1.2 定时协议和仲裁方式	(132)
7.1.3 PC 系统总线发展简史	(134)
7.2 Pentium PC 总线层次结构	(136)
7.2.1 Pentium PC 总线结构框图	(136)
7.2.2 Pentium 引脚信号及总线周期	(138)
7.3 当代总线 PCI	(142)
7.3.1 PCI 总线结构	(142)
7.3.2 PCI 总线周期和总线仲裁	(145)
7.4 遗留总线 ISA	(148)
7.4.1 ISA 总线结构	(149)
7.4.2 即插即用 ISA 规范	(152)
7.5 未来总线 Futurebus ⁺	(154)
7.5.1 Futurebus ⁺ 总线结构	(154)
7.5.2 Futurebus ⁺ 分布式仲裁	(157)
8 外围设备及 I/O 总线	(160)
8.1 外存储器	(160)
8.1.1 硬磁盘机和 ATA/IDE 接口标准	(161)
8.1.2 软磁盘驱动器	(165)
8.1.3 CD-ROM 驱动器	(166)
8.2 显示适配器	(170)
8.2.1 显示标准	(171)

8.2.2	显示适配器结构.....	(173)
8.2.3	显示适配器带宽需求与 AGP,.....	(174)
8.3	并行 I/O 总线 SCSI	(176)
8.3.1	SCSI 标准	(176)
8.3.2	SCSI 的协议层	(178)
8.4	串行 I/O 总线 1394 和 USB	(181)
8.4.1	IEEE1394 标准	(182)
8.4.2	通用串行总线 USB	(185)
9	新一代 Pentium PC	(187)
9.1	多媒体扩展技术.....	(187)
9.1.1	MMX 技术	(187)
9.1.2	Pentium MMX 处理器	(191)
9.2	动态执行技术.....	(193)
9.2.1	动态执行技术及其核心结构.....	(193)
9.2.2	Pentium Pro 处理器	(197)
9.3	Pentium II 及新型系统结构	(198)
9.3.1	Pentium II 处理器	(198)
9.3.2	新型 Pentium PC 系统结构	(200)
9.3.3	个人计算机的近期展望.....	(202)
参考文献		(203)

1

绪 论

本书以 Pentium PC 为典型实例, 介绍当代计算机系统结构所采用的一些最主要的先进技术。鉴于此, 本章首先介绍计算机系统结构的基本概念, 然后针对 Pentium PC 发展的基础和前进方向, 介绍 Wintel (Windows + Intel) 平台和 CISC 与 RISC 结构。

1.1 计算机系统结构基本概念

自第一台电子计算机问世以来, 半个世纪已经过去了。随着科学技术的进步, 计算机技术应用领域的扩大与深入, 尤其是 VLSI 技术新进展、算法与软件研究新成果, 使计算机系统性能大幅度提高, 计算机系统结构也发生重大变革。那么, 什么是计算机系统结构? 当今它又朝着什么方向发展? 本节对此予以简要介绍。

1.1.1 计算机系统结构、组成与实现

计算机系统结构 (computer architecture), 也称为计算机体系结构。1964 年, 由 Amdahl 等人首先提出, 并为计算机系统结构下了定义, 即“程序员所看到的系统的一些属性: 概念性的结构和功能上的表现, 这些属性既不同于数据流和控制的组织, 也不同于逻辑设计和物理实现”。按照介绍 IBM 360 系统时的计算机技术水平而言, 他们所指的程序员是使用机器语言或汇编语言的程序设计人员, 而不是高级语言程序员。因此, 所看到的计算机属性是硬件子系统的概念结构及功能特性, 包括指令系统和实现指令系统的硬件, 如寄存器定义和组织、存储器的组成和寻址方式、数据类型及表示、机器工作的状态及切换、中断以及输入输出机制等。

计算机组成 (computer organization), 也常称为计算机组织。在计算机系统结构确定了分配给硬件子系统的功能及其概念之后, 计算机组成的任务是研究硬件子系统各部分的内部结构和相互联系, 以实现机器指令级的各种功能和特性。它包括: 数据通道宽度的确定, 各种功能部件的相互连接及性能参数的匹配, 功能部件的并行性确定, 控制机构的设计, 缓冲器和排队的使用, 可靠性技术的采用等。

计算机实现 (computer implementation), 指的是计算机组成的物理实现。它包括处

理机、主存等部件的物理结构，器件的集成度、速度和信号，器件、模块、插件、底板的划分与连接，专用器件的设计，电源、冷却、装配等技术。

总之，按照上述的划分，计算机系统结构、计算机组成和计算机实现是三个不同的概念。计算机系统结构是指令系统及其执行模型；计算机组成是计算机系统结构的逻辑实现；计算机实现是计算机组成的物理实现。它们各自包含不同的内容和采用不同的技术，但又有紧密的关系。

但是，有两点需要注意：

一是计算机系统结构、组成和实现之间的界限变得越来越模糊了。尤其是严格区分计算机系统结构和组成已不太可能，也没有太大的实际意义。随着 VLSI 技术的进步，新器件的不断涌现，当今计算机系统结构的设计所面临的问题与 Amdahl 所处的时期大不相同，就是与 10 年前也大不相同。例如，10 年前系统配置几十至几百 KB 的内存就很不错了，某些指令系统的设计中甚至有对存储器操作数直接进行加减的指令，不惜牺牲执行速度来珍惜宝贵、有限的内存资源。现在，存储器芯片的集成度大幅度提高而价格急剧下降，内存容量已不是计算机系统结构设计的主要问题了；如何组织存储器以提高存取速度，如何保证 CPU-内存之间的通道不致成为系统性能的瓶颈，是当代计算机系统结构设计必须考虑的问题。现在，一般已将功能模块设计移入计算机系统结构考察的范畴之内。

二是我们介绍了计算机系统结构、组成和实现三者之间的关系，但不要认为计算机系统结构设计就是硬件设计，两者不能混淆。操作系统、编译程序以及高级语言的发展都对计算机系统结构的设计有重要影响。计算机系统结构设计是在功能这一层次上考虑问题，当然要涉及到硬件，但它不是只包括硬件设计。例如，存储器管理功能可以由硬件和软件共同实现，它们之间的分工取决于当前硬件和软件的可用性、性能和价格。在 VLSI 发展的初期，存储器管理功能一般由软件实现；现在，存储器控制芯片已能实现这些存储器管理算法并维护存储器与高速缓存的一致性。因此，计算机系统结构设计的一个主要任务是研究软件、硬件功能分配和对软件、硬件界面的确定。

总之，计算机系统结构完成各功能模块设计并把这些功能模块互连成一个完整的计算机系统，这些功能模块可以是硬件、软件或者两者的混合。它向编译程序、操作系统设计人员提供硬件子系统的概念结构及其功能特性。计算机系统结构的属性和特征与操作系统的属性和特征，一起构成计算机软件运行的平台。

1.1.2 计算机系统结构的发展与分类

世界第一台通用电子数字计算机 ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer)，于 1946 年在美国宾夕法尼亚大学建成。ENIAC 输入和更换程序特别繁冗。对此，ENIAC 课题组的顾问、著名数学家冯·诺依曼提出将程序的指令与指令所操作的数据一起存于存储器的概念。这个著名的存储式程序 (stored-program) 概念，成为计算机工作的基本机理。这一概念也被图灵大约同时期提出。后来，冯·诺依曼在普林斯顿主持设计实现这一思想的 IAS 计算机，但迟至 1952 年才予完成。世界上第一台存储式程序计算机是 1949 年在美国剑桥大学建成的 EDSAC (Electronic Delay Storage Automatic Calculator) 计算机，它使用 3000 只电子管，每秒钟能完成 700 次加法运算。1953 年

IBM 公司制造出第一台电子存储式程序的商用计算机。

50 年来, 计算机系统结构已取得重大进展, 但大多数机器的计算机系统结构仍没能摆脱冯·诺依曼机器结构的范畴。冯·诺依曼型机器由运算器、控制器、存储器和输入/输出设备组成, 如图1.1 所示。它的计算机系统结构的基本特点可归纳为以下几点:

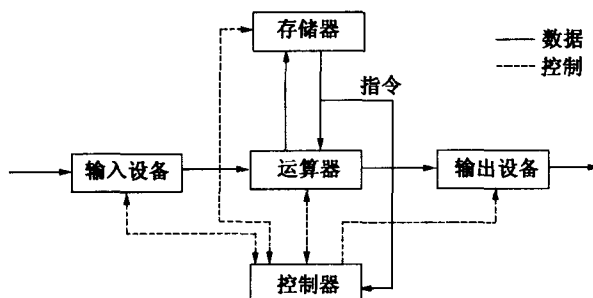


图 1.1 冯·诺依曼机器的结构

第一, 采用存储程序方式, 程序的指令和数据一起存放到存储器。存储器是线性编址的一维结构, 每个单元的位数是固定的。

第二, 指令由操作码和地址码组成, 操作码指定操作类型, 地址码指明操作数地址。操作数的数据类型由操作码确定, 操作数本身不具有数据类型 (如是定点数, 还是浮点数等) 标志。

第三, 在存储器中的指令和数据, 从它们本身是区别不了的, 它们都是二进制编码表示的。只不过, 指令的地址应由指令计数器给出。换句话说, 以指令计数器的值为地址, 由存储器读出的内容将被机器看成是指令, 被送往控制器去解释和执行。

第四, 每执行完一条指令, 指令计数器一般自动加“1”, 以指示下一顺序指令的地址。虽然执行顺序是可以根据运算结果来改变的, 但解题算法依然是也只能是顺序型的。

第五, 机器以运算器为中心, 采用二进制运算, 输入输出设备与存储器之间的数据传送都要途经运算器。控制器实施对各部件的集中控制。

50 年来, 电子计算机已经历了四次更新换代, 现在正处于第五代。各代的划分, 主要依据半导体技术水平, 并有明显的硬件和软件技术为标志。这五代是:

第一代: 1945~1954 年, 电子管和继电器;

第二代: 1955~1964 年, 晶体管和磁芯存储器;

第三代: 1965~1974 年, 中小规模集成电路 (MSI - SSI);

第四代: 1975~1990 年, LSI/VLSI 和半导体存储器;

第五代: 1990 年至今, ULSI/GSI (Giga - Scale Integration) 巨大规模集成电路。

这 50 年来计算机系统结构也有许多改进。较为成功的并有重大影响的改进, 包括如下几个方面:

(1) 计算机系统结构从基于串行算法改变为基于并行算法, 从而出现了向量计算机、并行计算机、多处理机等。

(2) 硬件子系统与操作系统和数据库管理系统软件相适应, 从而出现了面向操作系统机器和数据库计算机等。

(3) 为了适应特定应用环境而出现了各种专用计算机,如快速傅里叶变换机器、过程控制计算机等。

(4) 计算机系统功能分散化、专业化,从而出现了各种功能分布计算机,这类计算机包含外围处理机、通信处理机等。

(5) 为了高可靠性需求而研制的容错计算机。

(6) 出现了处理非数值化信息的智能计算机,如自然语言、声音、图形和图像处理等。

(7) 计算机系统结构从传统的指令驱动型改变为数据驱动型和需求驱动型,从而出现了数据流计算机和归约机。

(8) 随着 VLSI 技术的发展,自 70 年代中期始,微型计算机异军突起、发展迅猛,工程工作站和个人计算机(PC)已广泛应用于社会生活的各个领域。它们价格不高,但系统结构中采用了过去为开发大中型机而使用过的技术,性能已能和过去的小型机、甚至大中型计算机相媲美。

面对如此众多的计算机系统结构,如何抓住它们最本质的特征将其分类?目前,有三种主要方法。按指令流数据流的 Flynn 分类法,按最大并行度的冯氏分类法和按并行-流水程度的 Handler 分类法。这里只介绍普遍采用的 Flynn 分类法。

Micheral Flynn 1972 年根据出现的是单一还是多个的指令流和数据流,将计算机系统结构分成四类。一个指令流是被单个处理器执行的一组顺序指令,数据流是指被指令流所需求的数据顺序流。Flynn 划分的四类如下:

1. 单指令流单数据流 SISD

这是传统的冯·诺依曼串行机概念,一次只执行一条指令。SISD 也常被称为串行标量计算机(serial scalar computer)。当今,SISD 计算机不是全部不生产了,也是很少再生产、销售了。就是个人计算机也实现了一定的并行性以取得较高的性能,大多数情况下,它们能同时执行两条或更多的指令。

2. 多指令流单数据流 MISD

它暗示是几个指令对同一数据片的操作,有两种方式来解释 MISD 类机器的组织。一种方式是考虑这样一种机器,它有几个处理部件能接收几个不同的指令对同一数据进行操作。这已被证明是不可能的或不实际的,至少目前还没有这类机器工作的例子。另一种方式是考虑让数据流通过一串处理部件,像向量处理机和搏动式阵列(systolic array)这样的高度流水线式结构,可以被认为是属于这种方式的 MISD 结构。流水线结构通过一系列阶段(或步)来完成向量处理,每一段完成一个具体的功能并产生一个中间结果。向量的各个元素可以认为是属于同一数据片;流水线的各段代表施加于这个向量的多个指令,故可看作是 MISD 结构。

3. 单指令流多数据流 SIMD

这隐含指出,它是单一指令同时对不同的数据进行同一操作。在这样的机器中;单一的控制部件操纵多个分开的处理部件。类似于 MISD,这种 SIMD 机器能支持向量处理,它分派向量元素到各个处理部件并行完成计算。本书最后介绍的 Pentium MMX 和 Pentium II 处理器,在处理多媒体数据时即呈现出这种 SIMD 结构,一条 MMX 指令可对打包数据中的 2 个、4 个或 8 个数据同时操作。

4. 多指令流多数据流 MIMD

机器有多个处理部件,多条指令能同时对不同的数据进行处理。这是一类最复杂的机器,多处理机系统、多计算机系统和数据流计算机都可算作此类。这类机器通过并行处理实现最大的效能,并行不仅指多个处理器同时操作,而且指多个程序(进程)在同一时间片被执行。多处理机和多计算机之间的主要差别在于存储器共享和处理机间通信机制的不同。多处理机系统中的处理机通过公用存储器的共享变量实现相互通信。多计算机系统每个处理机有只属于本结点的本地存储器,处理机之间的通信通过结点间的消息传递来实现。数据流计算机的工作原理与传统的冯·诺依曼计算机根本不同。它的指令由操作包和数据令牌组成,用数据令牌传送数据和激活指令。它的指令不是在中央控制器控制下顺序执行的,而是在数据的可用性控制下并行执行的,故也将其划入MIMD类。

当然,这四类并不能把当今所有计算机系统结构类型都包括进去。例如,神经网络和模糊逻辑计算机就不宜划入其中的某一类,只能算作具有并行处理结构的特殊类。

综上所述,除了曾冷落一段时间近来又逐步完善并走向实用化的数据流计算机之外,50年来计算机系统结构虽取得重大进展,但并没有发生革命性的变化,仍是以冯·诺依曼机器为原型,在此基础上加入并提高并行处理能力。也主要是按并行处理实现的手段和并行处理的能力,将计算机系统结构分类。因此,在学习计算机系统结构这门课程时,一定要抓住并行处理这条主线。

1.1.3 个人计算机和工作站

曾普遍将计算机系统分为巨、大、中、小、微五类,这是按规模、性能、速度以至价格的一种大致划分。

大、中型计算机,国外常用 mainframe 一词表示,它们大都是通用机,在计算机工业中占很重要地位,很多新的系统结构技术都是首先在大中型计算机上被采用。著名的产品,早期有 IBM 360 系列、370 系列,后来有 IBM 4300 系列等。

巨型计算机是为气象预报、国防工程、核物理研究等专门设计的具有极高运算速度和很大容量的计算机。其中,著名的有 Cray-1 计算机,它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 CrayX-MP 机向量运算速度达每秒 4 亿次。近年来,以微处理器为阵列结构的巨型机(常称为小巨型机)得到了发展,例如古德伊尔公司为美国宇航局研制的巨型计算机系统 MPP,由 16384 个微处理器组成 128×128 方阵。我国自行研制的银河-I、银河-II 型机也属于巨型机范畴。

小型机,因其规模小、结构简单,设计试制周期短,便于及时采用先进技术和工艺,硬、软件成本低等优点,曾在 70 年代被普遍采用。著名的有 DEC 公司的 PDP-11 系列和 VAX-11 系列。近年来曾在我国高校、银行、企事业单位中广泛流行的、用于 Client/Server 计算的 AS/400 亦属于小型机。

微型机的出现与发展,发起了世界范围的计算机大普及浪潮。1971 年以 Intel 4004 的 4 位微处理器组成的 MCS-4 是世界第一台微型机。近 30 年来,微型机获得惊人的飞跃式发展,从 4 位、8 位、16 位到现在的 32 位机,目前正在向 64 位计算机发展。32 位的微型机采用过去大中型计算机中所采用的技术,故现在的微型机性能已达到 70 年代大中型计算机的水平。

70 年代末，在微型机领域中出现个人计算机 PC (Personal Computer) 和 workstation。谁也没料到，PC 和 workstation 的出现不仅剧烈地改变着人类社会生活的各个方面，标志着信息时代的到来；而且剧烈地改变计算机工业的布局。表 1.1 是美国市场计算机销售额统计资料。只经过 15 年，PC 和 workstation 在美国的销售额已经从 1978 年的 6% 份额激增到 1992 年的 49% 份额。这一情况也代表了全世界的销售趋势。

表 1.1 美国市场计算机销售额(百万美元)

机 型	1978 年	1992 年
大型机	550	863.9
中型机	624	1503.5
PC/workstation	78.5	2295.2

个人计算机体积较小、价格较廉，并主要为每次 1 人使用，用户界面“友好”。最早出现的个人计算机是 1977 年 Apple 公司的 Apple II 型微机。一向以生产大中型通用机为主的 IBM 公司于 1981 年推出了 IBM PC 机，后来又推出了 IBM PC/XT 机和 IBM PC/AT 机。这段时期的 IBM PC 系列机，使用的处理器是 Intel 公司提供的 Intel 8086, 8088 和 80286 芯片，使用的操作系统是 Microsoft 公司提供的 MS-DOS 和 Windows 3.x。IBM PC 系列机在整个 80 年代得到迅猛发展和普及，这也带动了成立不久的计算机芯片厂商 Intel 公司和计算机软件厂商 Microsoft 公司的巨大发展。后来，IBM 公司转为生产和销售 PS/2 (Personal System/2) 个人机，使用的操作系统主要是 OS/2。其后，Intel 公司继续推出 80386, 80486, Pentium, Pentium MMX, Pentium Pro, Pentium II 一系列 32 位微处理器芯片，AMD, Cyrix, TI (Texas Instrument) 等公司也生产出与之兼容的芯片。以这些先进芯片为处理器的个人计算机，从概念上讲都属于 IBM PC/AT 的兼容机，但人们已普遍将其称为 386 PC, 486 PC 和 Pentium PC。现在，“PC”这个名词已变为专指那些基于 Intel x86 微处理器的计算机和那些与 Apple 公司的 Macintosh 兼容的计算机。

workstation (workstation) 这个名词并不太规范，极易与计算机网络系统中的服务器—工作站中的工作站相混淆。这里的工作站是指，具有完整人机交互界面，集高性能的计算和图形于一身，可配置大容量的内存和硬盘，I/O 和网络功能完善，使用多任务多用户操作系统的小型通用个人化的计算机系统。1983 年美国 Apollo 公司推出第一台适合计算机辅助设计 (CAD) 的工作站，采用的是 Motorola 公司的 68000 系列的 CISC 芯片，并配有分辨率较高、尺寸较大的显示器。Apollo 公司于 1989 年被 HP 公司兼并，目前主要的工作站厂商有 SUN, HP, IBM, DEC, SGI 等五家公司，此外 NEC, Fujitsu, Intergraph 等公司也占有一些小的市场份额。由于工作站起步较晚，推出不久即是 32 位结构，现在已出现 64 位结构，并普遍采用的是 RISC 处理器芯片，如 SUN 使用的是 SPARC 系列芯片，HP 是 PA-RISC, IBM 是 Power PC, DEC 是 Alpha, SGI 是 MIPS 等芯片。工作站采用的主要是 UNIX 操作系统。由于历史的原因，多家的 UNIX 互不兼容，为此制定开放系统标准，遵循 X/Open 所规定的 API、界面、图形、网络等标准，就能达到互移植性和互操作性。workstation 在工程领域、商业领域及办公领域中获得

广泛的应用。高档个人计算机与工作站的距离正在缩小。

个人计算机和工作站，又称为桌面系统，它们占有计算机市场一半以上的份额。难怪美国一家计算机公司惊呼：“计算机工业正在逐渐被桌面世界所控制，并且谁控制了桌面世界，谁就占据了给计算机其它领域制定规矩的最佳位置。”

1.2 Wintel 平台

平台 (platform) 一词已在计算机界广泛使用，但至今也没有严格的定义，泛指计算机用户软件运行的硬、软件环境。对于目前 IBM PC 系列个人计算机直至 Pentium PC 而言，计算机平台是由 Intel x86 处理器为核心的计算机系统结构 (又称 IA，即 Intel Architecture) 和 Microsoft 提供的 Windows NT，Windows 95 (以及刚面世的 Windows 98) 主要操作系统组成。因此，也称之为 Wintel (Windows + Intel) 平台。

既然计算机系统结构的一个主要任务是研究计算机系统中硬、软件的功能分配和硬、软件之间界面的确定。因此，这里除介绍 Intel x86 处理器之外，也有必要简要介绍 Windows 95 操作系统。因为广大读者对 Windows 95 使用和操作已经很熟悉了，所以这里只简要介绍其特征和组成结构。

1.2.1 Intel x86 处理器系列

表 1.2 列出 8086，80286，80386，80486，Pentium，Pentium MMX (多能奔腾) 等微处理器芯片的主要性能参数。Intel 第六代微处理器 (P6) 芯片未列入表中，关于 Pentium Pro (高能奔腾) 和 Pentium II 微处理器的主要性能参数请见第九章。表下方的注释对一些需注意点做了一些说明。除此之外，还需要说明两点：第一，80486SX 严格地讲不应算作一代产品，它只是 80486 (DX) 芯片产品中那些片内浮点处理器制作不合格的芯片，(出厂前 FPU 被短路) 作为不含浮点处理器的 80486 芯片来销售。第二，1993 年 3 月推出的 Pentium 芯片使用的是 5V 工作电压，采用的是 0.8 μ m 半导体工艺技术，产品内部代号为 P5。1994 年 3 月推出的 Pentium 芯片产品代号为 P54C，采用 0.6 μ m 半导体工艺技术，微处理器工作电压为 3.3V，功耗也由 15W 降至 4W。但是 P5 销售之后，美国 Luychburg 学院的一位教师发现 P5 芯片有 bug (确切地说是浮点的双精度除法有缺欠)，尽管只有 27 000 年一次的出错概率，Intel 公司还是对已售出的 200 万只芯片应用户要求予以换货。故市场上已不大见 P5 芯片了。

表 1.2 Intel x86 处理器系列性能

推出 时间	CPU 类型	浮点处理 器(FPU)	指令集 规模	工作时钟 (MHz)	数据线 宽度	地址线 宽度	物理地址 空间大小	内部级 1 cache	工作模式	集成晶体 管数目	引脚 数
1978.6	8086	8087	133 条	6.8	16 位	20 位	1MB	无	实模式	29 000	40
1979.6	8088	8087	同上	4.77	8 位	同上	同上	同上	同上	同上	同上
1982.2	80286	80287	143 条	8,12,20	16 位	24 位	16MB	无	+ 保护模式	130 000	68
1985.10	80386(DX)	80387	154 条	12,25,33	32 位	32 位	4GB	无	+ V86 模式	275 000	132
1988.6	80386 SX	80387	同上	同上	16 位	24 位	16MB	无	同上		100

续表

推出时间	CPU 类型	浮点处理器(FPU)	指令集规模	工作时钟(MHz)	数据线宽度	地址线宽度	物理地址空间大小	内部级1 cache	工作模式	集成晶体管数目	引脚数
1989.6	80486(DX)	内含	160 条	25,33	32 位	32 位	4GB	8KB	+ 系统管理模式(SMM)	1.2 百万	168
1991.4	80486 SX	80487 SX	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	1.18 百万	同上
1992.3	80486 DX2	内含	同上	50,66	同上	同上	同上	同上	同上	1.2 百万	同上
1994.6	80486 DX4	内含	同上	75,100	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上
1993.3	Pentium(P5)	内含	165 条	60,66	64 位	32 位	4GB	16KB	同上	3.1 百万	273
1994.3	Pentium(P54C)	内含	同上	75,90 100,120 133,150 166,200	同上	同上	同上	同上	同上	同上	296
1996.10	Pentium MMX(P55C)	内含	222 条	166,200 233	64 位	32 位	4GB	32KB	同上,并具有多媒体扩展功能	4.5 百万	296

注:(1)8088 是 8086 数据总线为 8 位的产品。(2)80386 SX 是 80386(DX)外部总线与 80286 兼容的产品。(3)80486 SX 是 80486(DX)片内不含 FPU 的产品。(4)80486 DX2、DX4 是指 CPU 内部时钟频率是片外时钟频率的 2 倍频和 3 倍频。

由表1.2 可看出 Intel x86 处理器有如下特点:

(1) 从 1978 年 6 月到 1996 年 11 月, 18 年来 Intel 公司接连不断地推出 10 余种微处理器芯片(其中, 1995 年还推出 Pentium Pro 芯片)。正如 Intel 公司总裁兼首席执行官 Cvaig Bawett 所言, Intel 公司遵循 More 定律, 大约每 18 个月就会推出一种新的微处理器, 间隔期内对现有芯片的性能加以改进。由 8086 片内集成有 29 000 个晶体管到 Pentium MMX 片内集成有 4 500 000 个晶体管, 这种集成度的大幅度提高导致微处理器的功能越来越强, 速度越来越快。

(2) 8086(包括 8088)和 80286 都是 16 位的微处理器, 80386, 80486, Pentium 都是 32 位的微处理器。这主要由处理器内部的寄存器位长来确定, 尽管 Pentium 芯片的数据引脚线已是 64 位, 但仍属于 32 位微处理器。Intel 的 P6 产品, Pentium Pro 和 Pentium II 也是 32 位微处理器, 即将推出的 P7 产品据说是 64 位微处理器。

(3) 至 80386 已具备了三种主要工作模式, 即实地址模式、受保护的虚拟地址模式和虚拟 8086 模式。80386, 80486, Pentium 不仅能运行 16 位代码程序也能运行 32 位代码程序。这是能采用 Windows NT 或 Windows 95 操作系统的最基本硬件条件。

(4) 性能的增强还体现在: 浮点运算器(FPU)由片外的分立协处理器变为集成到处理器芯片内; 由处理器芯片内无 cache(高速缓存器)到片内有 8KB 的级 1 cache, 到片内有代码和数据 cache 各为 8KB 的共 16KB 级 1 cache, 到 Pentium MMX 处理器芯片内级 1 cache 已有 32KB(16KB 代码+16KB 数据)了。

(5) 处理器工作电压由 5V 改变为 P54C 和 P55C 的 3.3 V。处理器工作(片内)时钟频率由几兆赫到后来的 233MHz, 并且从 80486 开始处理器都普遍采用了倍频技术, 处理器工作速度因时钟频率的加快就获得了很大的提高。