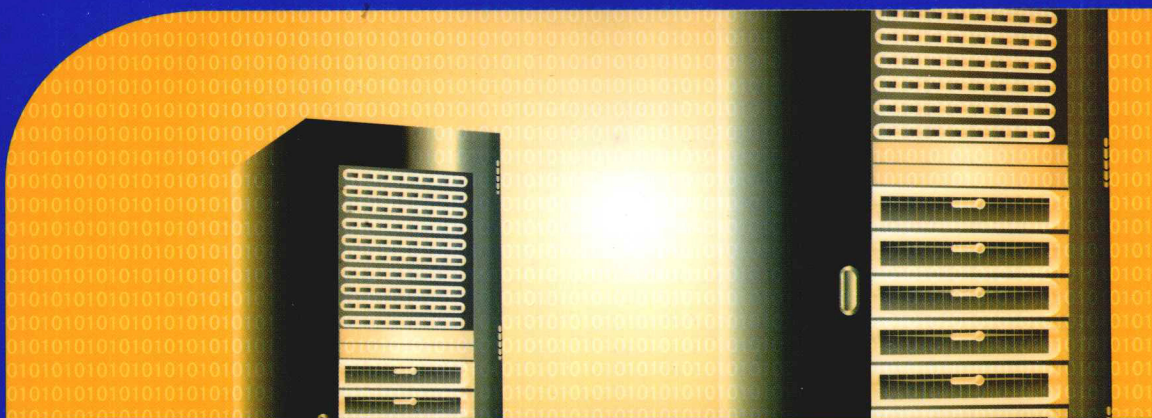




英特尔® 软件学院系列课程



处理器架构

Processor Architecture

英特尔® 亚太研发有限公司

英特尔® 软件学院教材编写组



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书共五章,从指令系统、CPU 组成、CPU 新技术、CPU 实例等方面详细介绍处理器架构的技术及应用发展。

本书理论与实例相结合,浅显易懂,适合广大计算机专业学生和 IT 初入门者阅读学习。

图书在版编目(CIP)数据

处理器架构 / 英特尔® 软件学院教材编写组编. —上海:
上海交通大学出版社, 2011

英特尔软件学院系列课程培训教材

ISBN 978-7-313-06869-9

I. 处… II. ①英… III. ①微处理器—高等学校—教材
IV. ①TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 198008 号

处 理 器 架 构

英特尔® 软件学院教材编写组 编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 951 号 邮政编码 200030)

电话: 64071208 出版人: 韩建民

上海华业装璜印刷有限公司印刷 全国新华书店经销

开本: 787 mm×960 mm 1/16 印张: 8 字数: 141 千字

2011 年 1 月第 1 版 2011 年 1 月第 1 次印刷

印数: 1~5030

ISBN 978-7-313-06869-9/TP 定价: 29.50 元

版权所有 侵权必究

进入 21 世纪,信息技术和信息产业在全球范围内迅猛发展的势头更为强劲,如何尽快适应新技术和新应用带来的挑战,及时更新员工知识结构,并动态调整企业人才培养战略,已经成为广大科技公司迫切需要解决的问题之一。对于高等教育、职业教育等专业组织机构来说,则面临着紧跟企业前进步伐,准确接轨社会发展趋势,瞄准世界科技前沿水平,不断进行教育教学创新,提高学生实践能力,开拓学生知识视野的现实需求。在中国,尽管近年来已经在科技人才培养方面取得了长足的进步,但是就整体现状而言,尤其在知识更新和技术创新方面,距离完全满足社会的需求还存在着较大的发展空间。

英特尔公司历来关注技术的发展创新和科技人才的培养。英特尔® 软件学院隶属于英特尔软件与服务事业部,作为英特尔公司专业的对外培训机构,为全球的软件开发人员提供了丰富的前沿技术培训课程。多年来,英特尔® 软件学院一直致力于培训软件开发人员,与中国的软件开发人员共同发展,帮助其掌握和应用英特尔的最新技术及经验,提高软件开发技术水平,提升产品开发技能。目前,英特尔® 软件学院在中国已经发展成为面向软件开发、项目管理及商业运营方向的优秀一站式培训服务基地。依托英特尔公司强大的师资力量,沿袭英特尔用户需求至上的传统,英特尔® 软件学院已经与国内多家知名公司、大学和教育机构建立了长期稳定的合



作关系,迄今已有数万名工程师和大学教师参与了英特尔® 软件学院的技术培训,并学以致用。

《英特尔® 软件学院系列课程》由英特尔® 软件学院牵头,联合国内的顶级高等学府合作编写。相信这本教材作为英特尔® 软件学院的重点课程之一,在科技人才培养和知识创新方面必将发挥重要的作用。

英特尔亚太研发有限公司总经理
英特尔公司软件与服务事业部中国区总经理
梁兆柱博士

计算机作为引领人类社会进入信息时代的伟大产物已经成为我们日常生活不可缺少的重要部分,而计算机的核心组件——处理器相关的知识更是计算机研究人员和科技工作者需要深入了解和掌握的内容。计算机处理器从最初的 4004、8008 起步,一路更新换代,直到现在以 Core 为核心的酷睿架构,期间新技术层出不穷,知识点纷繁复杂。本书将以英特尔公司处理器为例,对计算机的处理器架构和有关指令系统进行详细介绍。

具体章节安排如下:

第 1 章,计算机系统概论

介绍计算机的分类,基本组成和系统概念。

第 2 章,指令系统

介绍计算机指令系统,包括指令格式、指令分类、寻址方式和指令系统实例。

第 3 章,CPU 组成

介绍 CPU 的组成和工作过程。

第 4 章,CPU 新技术

介绍并行处理、流水线、SIMD、RISC、超线程、动态执行和低功耗等新兴技术。



第 5 章,CPU 实例

介绍 8086/8088、Pentium 和 Core 等 CPU 实例。

本书适合大专院校学生和企事业单位科技人员参考使用。

由于作者水平有限,不足之外在所难免,欢迎广大读者批评指正。

编者著

2010 年 10 月

目 录

1 计算机系统概论	1
1.1 计算机的分类、发展与应用	1
1.1.1 计算机的分类	3
1.1.2 计算机的发展概况	4
1.1.3 计算机的应用	8
1.2 计算机的基本组成	12
1.2.1 计算机硬件	12
1.2.2 计算机软件	19
1.2.3 软件与硬件的逻辑等价性	21
1.3 计算机系统的概念	22
1.3.1 计算机系统的层次结构	22
1.3.2 计算机系统的3个术语	23
1.3.3 计算机体系结构的分类	24
2 指令系统	27
2.1 指令系统概述	27
2.1.1 指令系统的发展	27
2.1.2 指令系统的性能要求	28
2.2 指令格式	29
2.2.1 操作码	29
2.2.2 地址码	29
2.2.3 指令字长度	31

2.2.4	指令助记符	31
2.3	指令分类	32
2.3.1	数据传送指令	32
2.3.2	算术运算指令	32
2.3.3	逻辑运算指令	33
2.3.4	程序控制指令	33
2.3.5	输入输出指令	33
2.3.6	字符串处理指令	34
2.3.7	系统控制指令	34
2.4	寻址方式	34
2.4.1	指令寻址方式	34
2.4.2	操作数寻址方式	36
2.4.3	堆栈寻址方式	40
2.5	指令系统实例	43
2.5.1	8086/8088 指令系统	43
2.5.2	Pentium 指令系统	46
2.5.3	Pentium 4 指令系统	46
2.5.4	Core 2 指令系统	47
3	CPU 组成	50
3.1	CPU 的功能和组成	51
3.1.1	CPU 的基本功能	51
3.1.2	CPU 的基本组成	51
3.1.3	CPU 中的主要寄存器	53
3.1.4	操作控制器和时序发生器	55
3.2	CPU 的工作过程	55
3.2.1	指令的执行过程	56
3.2.2	指令周期	57
3.2.3	时序发生器	64
3.2.4	控制方式	65
3.3	操作控制器	66
3.3.1	组合逻辑控制器	67
3.3.2	微程序控制器	69

3.3.3	组合逻辑控制器与微程序控制器的比较	74
4	CPU 新技术	75
4.1	并行处理技术概述	75
4.2	流水线技术	76
4.2.1	流水线技术	76
4.2.2	流水线的分类	77
4.2.3	流水计算机的组成	78
4.2.4	流水计算机的时空图	79
4.2.5	指令的相关性	81
4.3	SIMD 技术	83
4.3.1	MMX	84
4.3.2	SSE	85
4.3.3	SSE2	86
4.3.4	SSE3	87
4.4	RISC 技术	87
4.4.1	CISC 的产生和发展	87
4.4.2	RISC 的产生	88
4.4.3	RISC 的特点	88
4.4.4	RISC 与 CISC 的主要特征对比	90
4.5	超线程/多核技术	90
4.5.1	超线程	90
4.5.2	多核技术	91
4.6	动态执行技术	92
4.6.1	指令调度	92
4.6.2	乱序执行技术	93
4.6.3	分支预测	93
4.6.4	多重指令启动	94
4.7	低功耗管理技术	96
4.7.1	制程提升	97
4.7.2	降低电压	97
4.7.3	减少晶体管数量	97
4.7.4	降低频率	97



5 CPU实例	99
5.1 8086/8088	99
5.1.1 8086/8088 的内部结构	99
5.1.2 8086/8088 的寄存器结构	100
5.1.3 存储器寻址机制	103
5.1.4 8086/8088 总线周期	104
5.1.5 8086/8088 CPU 的特性	105
5.2 Pentium	105
5.2.1 Pentium 的体系结构	105
5.2.2 Pentium 的新技术特点	109
5.3 Pentium 4	109
5.3.1 Pentium 4 的体系结构	110
5.3.2 Pentium 4 的技术特点	111
5.4 Core 2	112
5.4.1 Core 2 的体系结构	112
5.4.2 Core 2 的技术特点	114

1 计算机系统概论

1.1 计算机的分类、发展与应用

电子数字计算机 (Electronic Digital Computer), 通常简称为计算机 (Computer), 是按照一系列指令来对数据进行处理机器, 是一种能够接收信息, 存储信息, 并按照存储在其内部的程序对输入的信息进行加工、处理, 得到人们所期望的结果, 并把处理结果输出的高度自动化的电子设备。

计算机拥有众多的物理形态。早期的计算机足有一间房间大小, 而如今的计算机可以小到装入手表, 用手表电池驱动。个人计算机 (Personal Computers, PC) 和便携式计算机 (Portable Computer, 又称膝上型计算机 Laptop Computer) 已经成为信息时代的标志, 它们是大多数人所认为的“计算机”。

但是, 到目前为止, 使用最为广泛的计算机形态却是嵌入式计算机 (Embedded Computer)。嵌入式计算机较为小型、简单, 通常用来控制其他设备, 可以出现在各种机器中, 从战斗机到工业机器人, 从数码相机到儿童玩具。

根据 Church-Turing 理论, 任何一台具有最基本功能的计算机, 原则上都能够执行任何其他计算机可以执行的任务。因此, 只要不考虑时间和存储容量, 性能和复杂度均相差甚远的各种计算机, 从个人数字助理 (Personal Digital Assistant, PDA) 到超级计算机 (Supercomputer), 都能够执行相同的运算任务。

图 1.1 为美国 SGI 公司 (Silicon Graphics, Inc.) 为 NASA (National Aeronautics and Space Administration, 美国国家航空和宇宙航行局) 制造的 Columbia 超级计算机。

图 1.2 为在 GNUX (GNU + Linux) 操作系统下运行视频会议软件的手表计算机。

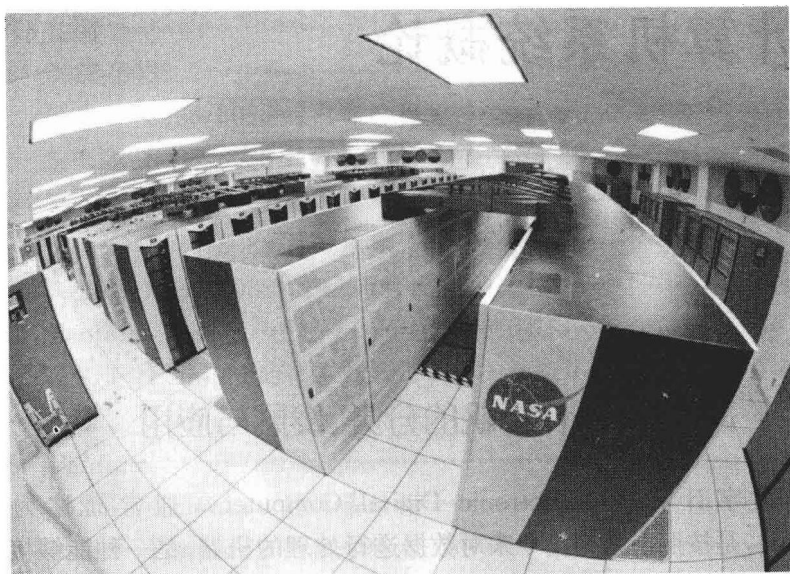


图 1.1 NASA Columbia 超级计算机



图 1.2 手表中的计算机

1.1.1 计算机的分类

计算机是用数字来表示数量的大小的。在计算机中,数值是离散的,其运算过程也是离散的。计算机的发明和发展是 20 世纪人类最伟大的科学技术成就之一,也是现代科学技术发展水平的重要标志。

1.1.1.1 计算机分类

根据计算机的效率、速度、价格、运行的经济性和适应性,计算机可分为通用计算机和专用计算机。

通用计算机功能齐全,通用性强,可做各种各样的工作,但牺牲了效率、速度和经济性。

专用计算机是专为某些特定问题设计的功能单一的计算机,一般说来其结构要比通用计算机简单,它具有可靠性高、速度快和成本低的优点,是最有效、最经济和最快速的计算机,但其适应性很差。

1.1.1.2 通用计算机分类

通用计算机又可分为超级计算机、大型机、服务器、工作站、微型机和单片机 6 类。它们的区别在于体积、复杂度、功耗、性能指标、数据存储空间、指令系统规模和价格,如图 1.3 所示。

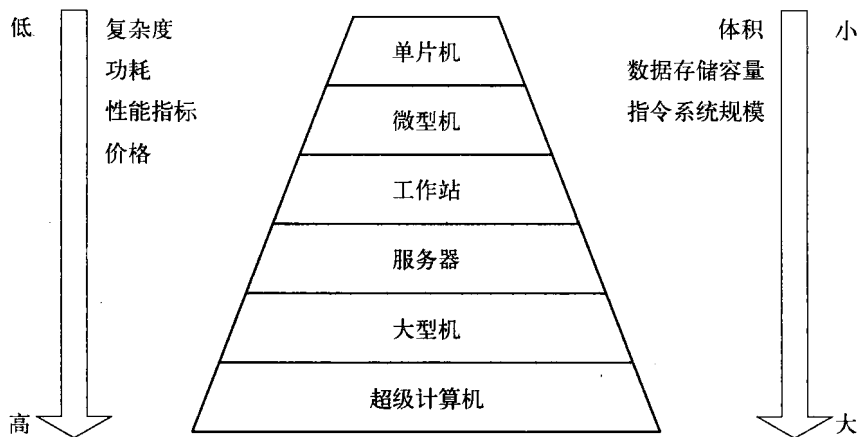


图 1.3 通用计算机的分类

一般来说,超级计算机主要用于科学计算,其运算速度远远超过其他计算机,数据存储空间很大,结构复杂,价格昂贵。单片计算机是只用单片集成电路(Integrated Circuit, IC)做成的计算机,体积小,结构简单,性能指标较低,价格便

宜。介于超级计算机和单片机之间的是大型机、服务器、工作站和微型机,它们的结构规模和性能指标依次递减。但是随着超大规模集成电路的迅速发展,微型机、工作站和服务器的彼此之间的界限也在发生变化,因为今天的工作站可能是明天的微型机,而今天的微型机可能是明天的单片机。

1.1.2 计算机的发展概况

最初,“Computer”一词指的是从事数值运算的人,他们往往借助某种机械运算装置。随着时代的演变和技术的进步,“Computer”一词现在专指计算机,即电子数字计算机。

1.1.2.1 第一台通用电子数字计算机

一般认为,世界上第一台通用电子数字计算机是1946年在美国宾夕法尼亚大学问世的电子数字积分计算机(Electronic Numerical Integrator And Computer, ENIAC),如图1.4所示。这台机器用了18 000多个电子管,占地170平方米,总重量达30吨,耗电140千瓦,每秒能做5 000次加减运算。从今天的眼光来看,这台计算机耗费巨大又不完善,但它却是科学史上一次划时代的创新,奠定了电子计算机的基础。

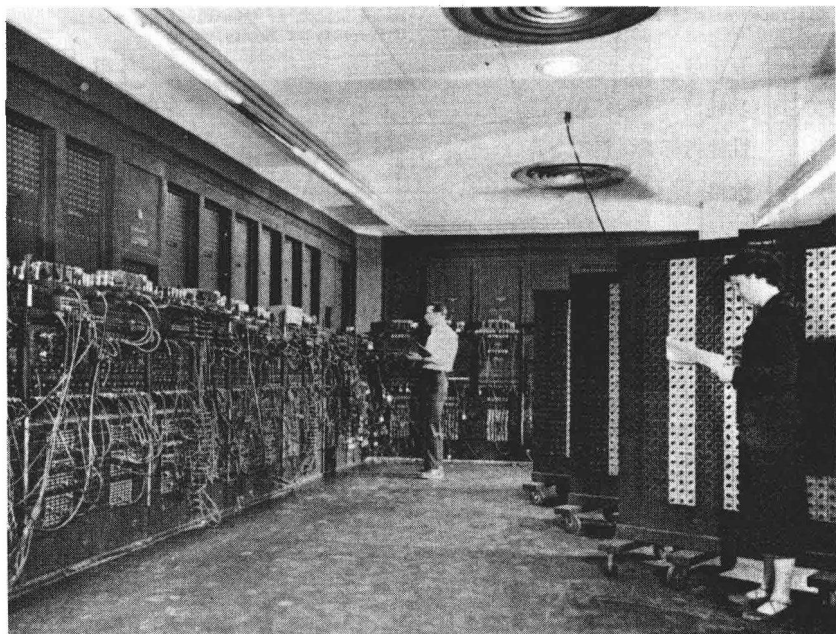


图 1.4 世界上第一台通用电子数字计算机 ENIAC

最初 ENIAC 的结构设计不够灵活,每一次重新编程都必须重新连线(Rewiring)。此后,ENIAC 的开发人员认识到这一缺陷,提出了一种更灵活、更合理的设计,这就是著名的存储程序体系结构(Stored-Program Architecture)。在存储程序体系结构中,给计算机一个指令序列(程序),计算机存储它们,并在未来的某个时间里,从计算机存储器中读出,并且依照其给定的顺序执行它们。现代计算机区别于其他机器的主要特征,就在于这种可编程能力。

早在 ENIAC 完成之前,数学家约翰·冯·诺伊曼(John von Neumann)就在其论文中提出了存储程序计算机的设计思想,因此,存储程序体系结构又称为冯·诺伊曼体系结构(von Neumann Architecture)。自从 20 世纪 40 年代第一台通用电子数字计算机出现以来,尽管计算机技术已经发生了翻天覆地的变化,但是,大多数当代计算机仍然采用冯·诺伊曼体系结构。

1.1.2.2 数字计算机的发展史

自从 ENIAC 计算机问世以来,从使用器件的角度来说,计算机的发展大致经历了 5 代,如表 1.1 所示。

表 1.1 数字计算机的发展史

	时 间	使 用 器 件	执行速度(次/秒)	典型应用
第 1 代	1946~1957	电子管	几千至几万	数据处理机
第 2 代	1958~1964	晶体管	几万至几十万	工业控制机
第 3 代	1965~1970	小规模集成电路(SSD)、 中规模集成电路(MSD)	几十万至几百万	小型计算机
第 4 代	1971~1985	大规模集成电路(LSI)、 超大规模集成电路(VLSI)	几百万至几千万	微型计算机
第 5 代	1986~	甚大规模集成电路(ULSI)	几亿至上百亿	单片计算机

第一代计算机(1946~1957 年)使用电子管(Vacuum Tube)作为电子器件,使用机器语言与符号语言编制程序。计算机运算速度只有每秒几千次至几万次,体积庞大,存储容量小,成本很高,可靠性较低,主要用于科学计算。在此期间,形成了计算机的基本体系,确定了程序设计的基本方法,“数据处理机”开始得到应用。

第二代计算机(1958~1964 年)使用晶体管(Transistor)作为电子器件,开始使用计算机高级语言。计算机运算速度提高到每秒几万次至几十万次,体积缩小,存储容量扩大,成本降低,可靠性提高,不仅用于科学计算,还用于数据处理和事务处理,并逐渐用于工业控制。在此期间,“工业控制机”开始得到应用。

第三代计算机(1965 ~ 1970 年)使用小规模集成电路(Small-Scale Integration, SSI)、中规模集成电路(Medium-Scale Integration, MSI)作为电子器件,而操作系统的出现使计算机的功能越来越强,应用范围越来越广。计算机运算速度进一步提高到每秒几十万次至几百万次,体积进一步减小,成本进一步下降,可靠性进一步提高,为计算机的小型化、微型化提供了良好的条件。在此期间,计算机不仅用于科学计算,还用于文字处理、企业管理和自动控制等领域,出现了管理信息系统(Management Information System, MIS),形成了机种多样化、生产系列化、使用系统化的特点,“小型计算机”开始出现。

第四代计算机(1971 ~ 1980 年)使用大规模集成电路(Large-Scale Integration, LSI)与超大规模集成电路(Very-Large-Scale Integration, VLSI)作为电子器件。计算机运算速度大大提高,达到每秒几百万次至几千万次,体积大大缩小,成本大大降低,可靠性大大提高。在此期间,计算机在办公自动化、数据库管理、图像识别、语音识别和专家系统等众多领域大显身手,由几片大规模集成电路组成的“微型计算机”开始出现,并进入家庭。

第五代计算机从 1986 年开始,采用甚大规模集成电路(Ultra-Large-Scale Integration, ULSI)作为电子器件,运算速度高达每秒几亿次至上百亿次。由一片甚大规模集成电路实现的“单片计算机”开始出现。

总体而言,电子管计算机在整个 20 世纪 50 年代居于统治地位。但到了 60 年代,由于更小、更快、更便宜、能耗更低、更可靠的晶体管允许计算机以空前的商业规模进行生产,因此晶体管计算机取而代之。到了 70 年代,集成电路技术的采用和其后微处理器(Microprocessors)的产生,促使计算机在尺寸、速度、价格和可靠性上的另一次飞跃。到了 80 年代,计算机已经变得足够小和便宜,能够代替洗衣机等家用电器中的简单机械控制装置。与此同时,计算机也广泛地被个人所使用,成为现在无处不在的个人计算机(PC)。90 年代以来,随着 Internet 的普及与成长,个人计算机变得与电视和电话一样普及,几乎所有现代电子设备都会包含某种形式的计算机在内。

1.1.2.3 计算机体系结构的发展过程

生产、科研、应用的飞速发展,促使计算机的体系结构不断完善,形成了当代计算机的体系结构形式。

计算机问世后的 60 多年来,计算机体系结构的发展过程一直是在冯·诺伊曼体系结构的基础上,以提高速度、扩大存储容量、降低成本、提高系统可靠性和方便用户使用为目的,不断采用新的器件和研制新的软件的过程。就体系结构本身来说,主要是指令系统、微程序设计、流水线结构、多级存储器体系结构、输入/输出体

系结构、并行体系结构、分布式体系结构、多媒体体系结构、操作系统和数据库管理系统的形成和发展。

1.1.2.4 数字计算机的发展趋势

随着社会需求的不断增长和微电子技术的不断发展,数字计算机仍在继续发展,其发展呈现出以下几个趋势:

1) 多处理

某些计算机可以在一个或多个 CPU 之间划分工作,从而创建一个多处理(Multiprocessing)配置。传统上,这种技术只用在超级计算机(Supercomputer)、大型机(Mainframe)和服务器(Server)这类大型、强大的计算机上。但是,随着多处理器(Multiprocessor)和多核(Multi-Core,单片集成电路上有多个 CPU)的台式和便携式计算机的广泛出现,多处理技术在低端市场的使用也大为增加。

超级计算机经常拥有非常独特的体系结构,明显区别于基本的存储程序体系结构和通用计算机,它们经常拥有几千个 CPU、定制的高速互联网络和专门的计算硬件。由于需要大规模的程序组织,以便成功地同时使用大多数可用资源,因此这种设计往往仅对专门的任务有用。超级计算机通常用于大规模仿真、图形绘制、密码应用以及其他“令人为难的并行”任务。

2) 网络化

20 世纪 70 年代,美国各研究机构的计算机工程师开始用电子通信技术把它们的计算机连接起来。这一工作得到了 ARPA 的资助,所产生的计算机网络被称作 ARPANET。此后,该网络超越了大学和军队的范围而传播开来,最终形成了国际互联网(Internet)。

20 世纪 90 年代,随着电子邮件(e-mail)和万维网(World Wide Web)等应用的传播,以及以太网(Ethernet)和 ADSL 等廉价、快速的联网技术的发展,计算机网络已经变得无处不在。

3) 智能化

计算机智能化将进一步发展,各种知识库及人工智能技术将进一步普及,人们将用自然语言和机器对话。计算机将从数值计算过渡到知识推理为主,从而使计算机进入知识处理阶段。

4) 微型化

微型计算机将向更微型化、网络化、高性能、多用途方向发展。各种便携机、笔记本、掌上机等是计算机微型化的典型代表。

5) 巨型化

超级计算机将向更巨型化、超高速、并行处理、智能化方向发展,以更好地解决