

高等院校信息技术规划教材

计算机组成原理 实用教程(第2版)

王万生 编著



清华大学出版社

本书特色

- 本书是针对普通院校计算机应用类专业的学生编写的。在第1版成功的基础上，结合计算机组成原理的教学改革需要以及计算机技术的发展编写了第2版。
- 全书选材适当，内容完整，层次分明，条理清晰。教材中详细介绍了计算机系统的组成；计算机的一般工作过程；五大功能部件的作用和工作原理。在内容的组织上采用从整体（发明计算机的目的是什么，作为一个自动、连续、高速、准确的电子计算工具应该包括哪些功能部件）到局部（每一个功能部件的作用是什么，如何实现）再到整体（这些功能部件如何组合在一起构成一台完整的计算机系统，如何提高计算机整体性能指标等）的思路。
- 内容新颖。计算机发展技术日新月异，教材中对当今计算机发展的最新技术都做了介绍。
- 实用性强。在讲清理论的前提下突出应用，结合总线发展技术和PC机的主板芯片组具体介绍了如何将五大功能部件组合在一起构成一台高性能的计算机。
- 为了帮助读者巩固学习内容，每章都有大量的习题。

ISBN 978-7-302-25315-0



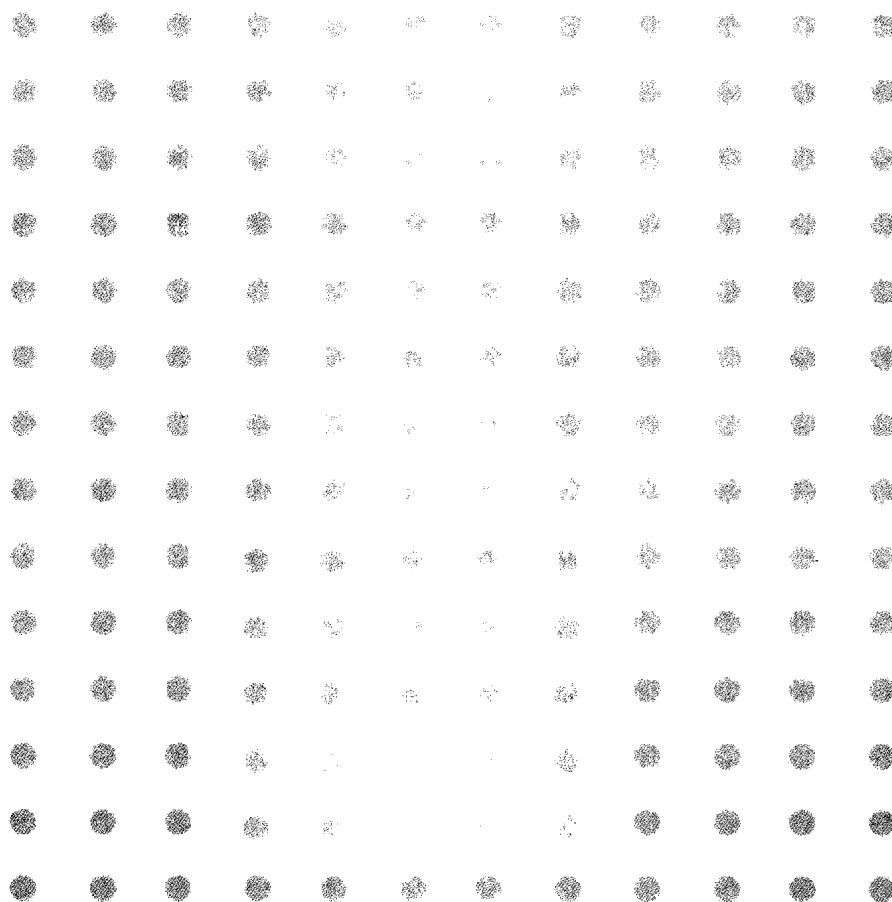
9 787302 253150 >

定价：23.00元

高等院校信息技术规划教材

计算机组成原理 实用教程(第2版)

王万生 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

全书共9章,第1章主要介绍计算机系统组成、计算机的发展历史及计算机的应用;第2章主要讲解信息的数字化表示,重点讨论数值数据的原码、补码和反码表示方法,非数值数据的表示方法;第3章介绍运算器的作用及实现,重点讨论定点数的加法器、乘法器、除法器的设计方法;第4章介绍存储器工作原理与存储器体系结构,重点讨论半导体存储器的工作原理和磁存储器的工作原理,存储器体系结构及解决的问题;第5章介绍计算机指令系统,重点讨论指令结构及寻址方式;第6章介绍CPU的组成和作用,重点介绍组合逻辑控制器和微程序控制器的实现;第7章介绍总线及总线互连结构;第8章介绍常用外部设备的作用与工作原理;第9章介绍输入输出系统,重点讨论中断与DMA工作方式。

本书选材适当、内容丰富、层次分明、条理清晰、实用性强,为了帮助读者巩固学习内容,每章都配有大量习题。本书适合作为普通高等院校计算机应用专业的教材。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理实用教程 / 王万生编著. 2版. 北京:清华大学出版社,2011.7
(高等院校信息技术规划教材)

ISBN 978-7-302-25315-9

I. ①计… II. ①王… III. ①计算机体系结构—高等学校—教材 IV. ①TP303

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第068008号

责任编辑:袁勤勇 李 晔

责任校对:梁 毅

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦A座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62795954,jsjje@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015,zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:15

字 数:359千字

版 次:2011年7月第2版

印 次:2011年7月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:23.00元

产品编号:039231-01

第1版前言

foreword

计算机组成原理是计算机专业学生的专业基础课。能否学好这门课,对后续课程的学习将会产生很大的影响。由于计算机系统比较复杂,各功能部件又相互联系、相互影响,本课程的学习难度较大。编写一本既能讲清难点,又能讲透重点的教材至关重要。本书作者根据多年的教学体会,主要以要解决的问题→解决问题的具体方法→影响性能指标的因素和提高性能指标的方法为主线介绍计算机系统的组成、工作原理和体系结构。

本书详细介绍计算机系统的基本组成;主要功能部件的作用;计算机解决问题的方法,即根据问题找出算法、编写程序、存储程序、自动地执行程序、对各种信息进行加工和处理,引出数值信息和非数值信息的概念;各种信息在计算机中的具体表示(各种编码方法)。对数值信息的处理(进行算术运算)和非数值数据处理(逻辑运算)需要的功能部件:运算器。然后讨论运算器的组成和具体实现方法,影响运算器性能指标的主要因素,通过改进算法提高性能指标的意义(突出数学的重要性)。

结合运算器工作所需要的各种控制信号,引出控制器的作用、微命令的产生和时序的作用;控制器设计思想;组合逻辑控制器、微程序控制器的设计方法及优缺点;内部总线结构和微电子技术的发展对 CPU 性能指标的影响;主流 CPU 的技术特点。

由存储程序自动地执行程序引出存储器的作用、分类、存储器的工作原理;提高存储器的性能指标对提高计算机系统总体性能指标具有重要意义;存储器体系结构解决的主要问题。目前主流存储器所采用的新技术。

由计算机系统中各主要部件之间的信息传输引出各功能部件的互连结构,重点介绍系统总线的概念;总线带宽的含义;主板及主板芯片组的作用。改变各主要部件之间的互连关系,提高总线带宽,对提高整机性能的意义,并结合 Intel 芯片组展开讨论。



通过人机接口界面引出外部设备的概念,然后介绍常用的外部设备的作用和工作原理;外部设备与计算机主机的连接方法;I/O接口的作用。外部设备同主机之间实现数据通信的方法、特点以及提高数据传输速度的方法。

通过多年的课堂教学实践,这种主线清晰、目标明确、重点突出、难点分散的结构体系使得教学效果非常显著。

本书在编写过程中,王芝庆教授和秦振松教授提出了很多宝贵意见,本书插图由秦海波、朱金锋、孟祥成、顾问老师绘制,与教材配套的PPT电子教案和习题答案由朱金锋、孟祥成、顾问老师参与完成,均在此表示感谢。

与本教材配套的电子教案,除有基本的教学素材以外,还有本教材的全部习题参考答案及两套期末考试卷(包括参考答案),欢迎任课教师通过清华大学出版社索取。

因水平所限,书中的错误和不足之处在所难免,希望读者和同行专家批评指正。

编 者

2006年9月

第2版前言

foreword

《计算机组成原理实用教程》自2006年11月出版以来,连续印刷了4次,发行总量达到12 000册。为了进一步满足广大读者的需求,结合近几年课堂教学以及各兄弟院校使用情况,适应计算机学科的发展和应用型计算机人才的培养目标,现对第1版的内容进行修改和补充。本次修改在保持第1版特色的基础上,重点突出以下4点:

(1) 从2009年开始,《计算机组成原理》已成为计算机学科各专业考研的计算机专业基础课程的统考课程(另外3门课程是《操作系统原理》、《数据结构》、《计算机网络》)。第2版在内容的安排上覆盖了考研大纲对《计算机组成原理》课程所有知识点的要求。

(2) 计算机系统是非常复杂的,学生在学习过程中感觉比较难,不是难在对具体内容的理解上,而是难在为什么要这样处理。例如,计算机为什么要采用二进制,加法运算为什么要采用补码?而不是如何将十进制转换成二进制、补码如何求的具体方法上。因此,在内容的组织上采用从整体(发明计算机的目的是什么,作为一个自动、连续、高速、准确的电子计算工具应该包括哪些功能部件)到局部(每一个功能部件的作用是什么?如何实现)再到整体(这些功能部件如何组合在一起构成一台完整的计算机系统,如何提高计算机整体性能指标等)来进行。整个教材的编写思想就是如何将复杂的问题简单化,引导学生用简单的方法、现成方法和工具去解决复杂的问题。以要解决什么问题→解决问题的具体方法→影响性能指标的因素和提高性能指标的方法为主线介绍计算机系统的组成、工作原理和体系结构。这种提出问题→分析问题→解决问题的思路突出了以人为本,可以让读者很自然地融入学习内容中,在学习过程中就会主动思考;这个问题如果让我来解决,我应该采用什么方法?将被动地接受知识变成了主动获取知识,学习过程也不再枯燥无味。

(3) 突出重点、分散难点。在章节的组织上,保持每章解决一个核心问题,然后再将问题进一步延伸,自然地过渡到下一章。在每章



的开始提出问题的来由,要讲解的主要内容。重点、难点内容通过例题、动画(在课堂教学中)帮助理解。在具体问题的解决上,首先从最简单的方法入手(功能实现),然后再对该方法进行剖析,指出其不足之处,再引出新的方法。实践证明,这种由浅入深、由表入里、循序渐进的方式对培养学生的学习能力,提高学生分析问题、解决问题的能力是非常有益的。

(4) 为本书课堂教学配套了立体化教学资源:全部习题的参考解答,经过多年课堂教学实践并不断完善的课堂教学PPT讲稿,大量原创的FLASH动画(运算器的运算过程、各种不同寻址方式的寻址过程、指令执行流程等),多媒体课件(第九届全国多媒体课件大赛获奖课件),计算机组成原理精品课程网站(<http://computer.sju.js.cn:1314/>),并在网站不断补充教学资源。

本书在编写过程中,王芝庆教授和秦振松教授提出了很多宝贵意见,在此表示感谢。本书插图由秦海波、朱金锋、孟祥成、顾问老师绘制,与教材配套的PPT、动画和习题答案由朱金锋、孟祥成、顾问老师参与完成,在此表示感谢。

由于水平所限,书中的错误和不足之处在所难免,希望读者和同行专家批评指正。

作者

2010.12

目录

Contents

第 1 章 计算机系统概论	1
1.1 计算机的发展状况	1
1.1.1 计算机的定义	1
1.1.2 计算机的发展	2
1.1.3 微处理器的发展	3
1.2 计算机系统的组成	4
1.2.1 计算机硬件系统	5
1.2.2 PC 系列微机的基本结构	7
1.2.3 计算机软件系统	8
1.3 计算机的应用	10
1.4 计算机系统的层次结构	11
1.4.1 计算机系统的层次结构	11
1.4.2 本课程研究的主要内容	12
1.5 计算机的主要性能指标	12
习题 1	13
第 2 章 计算机中信息的表示方法	15
2.1 概述	15
2.2 数据信息的机内表示方法	16
2.2.1 数值数据在机内的表示	16
2.2.2 进位计数制及相互转换	16
2.2.3 数的符号表示	20
2.2.4 数的小数点表示	23
2.2.5 十进制数据的表示	25
2.3 非数值数据的表示	26
2.3.1 逻辑数据	27
2.3.2 字符编码	27



2.3.3	汉字编码	28
2.3.4	图像(图形)的数字表示	29
2.3.5	语言的计算机表示	30
2.3.6	校验码	30
习题 2	.....	31
第 3 章	运算方法和运算器	34
3.1	定点数的加法、减法运算	34
3.1.1	补码加减法所依据的关系	34
3.1.2	补码加减法运算规则	35
3.1.3	溢出的概念及检测方法	36
3.2	二进制加法器	37
3.2.1	半加器	37
3.2.2	全加器	38
3.2.3	加法器	38
3.2.4	十进制加法器	42
3.3	定点数的乘、除法运算	42
3.3.1	移位操作	42
3.3.2	原码一位乘法	43
3.3.3	阵列乘法器	46
3.3.4	定点除法运算	47
3.4	逻辑运算	51
3.4.1	逻辑与	51
3.4.2	逻辑或	51
3.4.3	逻辑异或	51
3.4.4	逻辑非	51
3.5	定点运算器的组成	52
3.5.1	定点运算器的基本结构	52
3.5.2	集成多功能算术/逻辑运算器	53
3.6	浮点数运算	54
3.6.1	浮点数的加、减法运算	54
3.6.2	浮点数的乘、除法运算	56
习题 3	.....	57
第 4 章	存储器系统	59
4.1	存储器概述	59
4.1.1	基本概念	59

4.1.2	存储器分类	59
4.1.3	存储器的性能指标	61
4.2	半导体存储器	62
4.2.1	半导体存储器概述	62
4.2.2	RAM 存储原理	65
4.2.3	半导体 RAM 芯片	67
4.2.4	半导体只读存储器 ROM 的工作原理	70
4.3	存储器的组织	72
4.4	辅助存储器	75
4.4.1	磁表面存储器	75
4.4.2	硬磁盘存储器	79
4.4.3	光盘存储器	83
4.5	存储体系的概述	85
4.6	高速缓冲存储器工作原理简介	87
4.6.1	高速缓冲存储器的引入	87
4.6.2	cache 工作原理	88
4.6.3	主存-cache 地址变换的地址映像	89
4.6.4	替换算法	90
4.6.5	主存-cache 内容的一致性问题	91
4.6.6	cache 结构举例	91
4.7	虚拟存储器概念	92
4.8	存储器的校验方法	93
	习题 4	93
第 5 章	指令系统	97
5.1	概述	97
5.2	机器指令	99
5.2.1	机器指令格式	99
5.2.2	操作数类型和存储方式	101
5.2.3	指令类型	102
5.2.4	指令助记符	103
5.3	寻址方式	104
5.3.1	指令的寻址方式	104
5.3.2	操作数的寻址方式	104
5.4	RISC 技术	107
5.4.1	复杂指令 CISC 计算机	107
5.4.2	RISC 技术的产生	107
5.5	MMX 技术	108



习题 5	109
第 6 章 中央处理机的组织	111
6.1 CPU 的功能	111
6.2 CPU 的基本组成	112
6.2.1 运算部件	112
6.2.2 寄存器设置	112
6.2.3 时序部件	113
6.2.4 控制单元 CU	116
6.3 指令的执行过程	117
6.3.1 模型计算机的总体结构	118
6.3.2 模型机的指令系统	120
6.3.3 时序系统	121
6.3.4 指令执行流程	122
6.3.5 指令的微操作序列	125
6.4 组合逻辑控制器的设计	129
6.5 微程序控制器的设计	131
6.5.1 微程序控制的基本原理	131
6.5.2 微程序设计技术	136
6.6 CPU 性能设计	139
习题 6	142
第 7 章 总线及总线互连结构	145
7.1 总线的基本概念	146
7.1.1 总线的特性	146
7.1.2 总线的类型	147
7.1.3 系统总线的组成	147
7.1.4 总线的数据传输方式	148
7.2 总线的设计要素	149
7.2.1 信号线类型	150
7.2.2 仲裁方法	150
7.2.3 定时方式	153
7.2.4 总线事务类型	156
7.2.5 总线带宽	156
7.3 总线接口单元	156
7.4 总线性能指标	157
7.5 总线标准及发展过程	157

7.6	总线结构	165
7.6.1	总线结构的物理实现	165
7.6.2	总线结构	165
7.6.3	多总线分级结构举例	168
习题7	.....	171
第8章	输入输出设备	174
8.1	输入输出设备的分类与特点	174
8.1.1	外设的分类	174
8.1.2	外设特点	175
8.2	输入设备	176
8.2.1	键盘	176
8.2.2	鼠标器	177
8.2.3	触摸屏	179
8.3	输出设备	180
8.3.1	打印机	180
8.3.2	显示设备	186
习题8	.....	192
第9章	输入输出系统	194
9.1	I/O接口	194
9.1.1	I/O接口的功能	194
9.1.2	I/O接口的基本组成	195
9.1.3	接口的分类	196
9.2	I/O设备的寻址	198
9.3	I/O数据传输控制方式	200
9.4	程序直接控制的数据传输方式	201
9.5	程序中断控制数据传输	202
9.5.1	中断的基本概念	202
9.5.2	中断结构	205
9.5.3	中断响应及响应的条件	208
9.5.4	向量中断	209
9.5.5	中断服务处理	210
9.6	DMA直接存储器访问	211
9.6.1	直接存储器访问DMA	211
9.6.2	DMA的特点	212
9.6.3	DMA三种工作方式	212



9.6.4	DMA 控制器的组成	213
9.6.5	DMA 操作过程	214
9.7	通道和 I/O 处理器方式	216
9.7.1	通道的基本概念	216
9.7.2	输入输出处理机	217
9.8	常用标准接口举例	218
习题 9	.....	222
参考文献	.....	225

第 1 章

chapter 1

计算机系统概论

自 1946 年 2 月 15 日第一台计算机 ENIAC(Electronic Numerical Integrator And Computer, 电子数字积分计算机)诞生以来,计算机技术发生了翻天覆地的变化,计算机在各个领域获得了广泛的运用,作为一个现代人如果不会使用计算机就像文盲一样,是难于在现代社会立足的。究竟什么是计算机?一个完整的计算机系统由哪些部分组成?各部分的作用是什么?计算机是如何工作的?通过本课程的学习,大家就会明白。

本章主要讨论以下问题:

- (1) 什么是计算机?发明计算机最初目的是什么?
- (2) 一个完整的计算机硬件系统应该包括哪些功能部件?各功能部件的主要作用是什么?这些功能部件是如何相互连接协调工作的?
- (3) 计算机软件的作用及软件是如何驱动硬件工作的?
- (4) 计算机的发展历史及计算机在不同领域的主要应用。
- (5) 冯·诺依曼计算机体系结构的特点及计算机发展需要突破的方向。
- (6) 计算机主要性能指标。

1.1 计算机的发展状况

1.1.1 计算机的定义

为了将人从复杂的计算事务中解脱出来,各国科学家迫切希望能有一个高速、自动、准确的计算工具代替手工计算。很多科学家都对此进行了研究,其中最突出的是美国科学家阿塔纳索夫教授(Atanasoff)和贝瑞(Clifford Berry)、莫克利教授(J. W. Mauchly)和艾克特(J. P. Eckert)、冯·诺依曼教授(John Von Neumann)等,并最终成功地研制出具有实用价值的计算机 ABC(Atanasoff-Berry Computer)和 ENIAC。

定义: 电子计算机是一种能够存储程序、自动连续地执行程序,对各种数字信息进行算术运算和逻辑运算的快速电子工具。

计算机就是一个电子计算工具,发明计算机的人最初目的就是想将人从繁重的、复杂的计算活动中解脱出来。这个计算工具不同于我们中国的算盘,它具有自动、连续、高速、准确等特征。为了实现自动连续的计算,必须根据计算步骤来编写操作流程,然后存储该操作流程,并根据操作流程自动完成计算。

所以,用计算机解决问题,必须根据一定的算法编写程序,并以文件的形式存储程序,然后通过执行程序来完成对信息的处理和加工。程序是实现一定算法的指令集合,指令是指挥计算机硬件完成某一功能的命令。一般用户使用计算机实质上就是按照文件名运行一个具体程序,然后计算机将运行的结果通过输出设备告诉用户。

1.1.2 计算机的发展

世界上第一台计算机由美国宾夕法尼亚大学莫尔学院电机系莫克利教授(J. W. Mauchly)和他的学生艾克特(J. P. Eckert)及同事共同研制的,取名 ENIAC。它采用十进制运算,共使用 18 000 多个电子管,1500 个继电器,运行时耗电 150kW,占地面积约 140 平方米,重 30 吨,每秒可以完成 5000 多次加法运算或 50 次乘法运算,可以进行平方和立方运算以及 \sin 函数和 \cos 函数运算。从诞生到 1955 年 10 月 2 日 10 年间共运行了 80 223 个小时。

计算机的发展史常以器件来划分(不要和微处理器的发展混淆)。通常可以划分以下几个时代。

1. 第一代电子计算机

第一代计算机为电子管计算机(1946—1957)。它是将电子管和继电器存储器用绝缘导线互连在一起,组成单个 CPU,CPU 用程序计数器和累加器完成定点运算,采用机器语言或汇编语言,CPU 用程序控制 I/O 设备。此时,软件一词尚未出现。其特点是体积大,速度慢($10^1/s$ 每秒钟运算次数,下同),功耗大,存储器容量小。典型产品有 ENIAC、IAS、IBM 701。

2. 第二代电子计算机

第二代计算机为晶体管计算机(1958—1964)。它采用晶体管组成更复杂的算术逻辑部件和控制单元,存储器由磁芯构成,实现了浮点运算,并且提出了变址、中断、I/O 处理等新概念。软件也得到了发展,出现了高级语言编程,为计算机提供了系统软件。其特点是:同第一代计算机相比,第二代晶体管计算机体积小,速度快($10^5/s$),功耗低,可靠性高。典型产品有 IBM7094、CDC1604、DEC 公司的 PDP-1 计算机。

3. 第三代电子计算机

第三代计算机为小、中规模集成电路计算机(1965—1971)。单个封装的晶体管称分立元件,分立元件分开制造,封装在自己的容器中,然后再焊接到电路板上。第二代早期计算机大约包含 10 000 个晶体管,后来达数十万个。集成电路制造技术是利用光刻技术把晶体管、电阻、电容等构成的单个电路制作在一块芯片上。使用集成电路制造的电子计算机称集成电路计算机。这期间,因受半导体制造技术的限制,集成电路的规模较小,被称为小、中规模集成电路(Small Scale Integration, SSI 和 Middle Scale Integration, MSI)。其主要特点是:第三代计算机开始采用微程序控制、流水线、高速缓存、虚拟存储

器、先行处理技术等。软件采用多道程序设计和分时操作系统。典型产品有 IBM 的 System/386 和 DEC 公司的 PDP-8 等。

4. 第四代电子计算机

第四代计算机为大规模、超大规模、极大规模、甚大规模集成电路计算机(1972 至今)。随着大规模集成电路与微处理技术的长足进步,大规模(Large Scale Integration, LSI)、超大规模(Super Large Scale Integration, SLSI)、极大规模(Ultra Large Scale Integration, ULSI)和甚大规模(Very Large Scale Integration, VLSI)集成电路成为计算机的主要部件,计算机的运行速度越来越快。并行处理技术的研究与应用以及众多巨型机的产生是这个阶段的一大特点。另一个特点就是计算机网络的发展及广泛应用,20 世纪 90 年代计算机与通信技术的高速发展与密切结合,掀起了网络热。大量计算机通过互联网相连,这就大大地扩展和加速了信息的流通,增强了社会的协调与合作能力,使计算机的应用方式由个人计算方式向分布式和群集式计算发展。另外,随着后 PC 时代的到来,消费电子、计算机、通信(Consumption、Computer、Communications,简称 3C)一体化趋势日趋明显,数字化社会的呼声使嵌入式系统(Embedded System)日益受到市场和厂家的关注,嵌入式设备越来越普及。同时,软件技术也得到了极大发展,高级语言编程、网络操作系统、个人计算机操作系统、网络数据库技术都得到了极大发展。多进程和多线程编程以及软件工程越来越受到人们的重视。

除了主要器件采用 VLSI 这一显著特点外,微处理器技术的发展也是计算机发展史上的里程碑式的事件,从 1971 年 Intel 的 4 位微处理器 4004 到现在的 64 位的 Pentium 4,计算机应用也从大型实验室和研究部门最终走进了家庭。

5. 新一代计算机

目前计算机技术仍然使用硅组成的半导体器件,计算机的基本结构仍然遵循冯·诺依曼结构体系。新一代计算机正寻求速度更快,功能更强的全新元器件,如神经元、生物芯片、超导材料、量子芯片等。计算机的基本结构试图突破冯·诺依曼结构体系(指令驱动的串行计算机,对现实世界中的大量并行处理具有先天不足),而采用自然语言为计算机的逻辑推理语言,使计算机更具有智能化。

1.1.3 微处理器的发展

在计算机发展过程中,有两项技术对计算机发展起了重要作用:微处理器技术和半导体存储器技术。早期存储器采用的是铁磁环,1970 年仙童(Fairchild)公司利用集成电路技术生产出第一个半导体存储器芯片(256 位二进制信息)。从 1970 年开始半导体内存从 1KB、4KB、16KB、64KB、256KB、1MB、4MB、16MB、64MB 发展到 256MB、512MB 等,速度也越来越快。这为运行大规模软件提供了物质基础。另一个就是微处理器。微处理器的发展使得计算机的功能越来越强,速度越来越快。表 1-1 是 Intel 公司主要 CPU 的性能表。