

21世纪高等学校计算机**专业**实用规划教材

计算机组成 与系统结构

陈泽宇 主编



清华大学出版社

21世纪高等学校计算机**专业**实用规划教材

计算机组成与系统结构

陈泽宇 主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书系统地介绍新型多核计算机系统的硬件组成与工作原理,同时也介绍并行计算机系统的发展趋势。全书共分8章,主要包括:计算机系统概论,运算方法和运算器,存储系统,指令系统,中央处理器(CPU),总线系统,输入输出(I/O)系统,并行计算机系统。

本书兼顾理论性与应用性,经典理论叙述清楚,深入浅出,新知识资料翔实,新颖实用,并且全面引入了酷睿2 CPU、多核技术、PCI Express 总线、SATA 接口、网格计算等新型计算机技术成果。

本书可作为高等院校计算机及相关学科本科生的专业基础课教材,也适合现代远程教育、成人教育学生使用,还可供从事计算机工作的工程技术人员参考。

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 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成与系统结构/陈泽宇主编.—北京:清华大学出版社,2009.1

(21世纪高等学校计算机专业实用规划教材)

ISBN 978-7-302-18863-6

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第195762号

责任编辑:付弘宇 李玮琪

责任校对:焦丽丽

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

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

社 总 机:010-62770175

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

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

地 址:北京清华大学学研大厦A座

邮 编:100084

邮 购:010-62786544

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:14.75 字 数:362千字

版 次:2009年1月第1版 印 次:2009年1月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:24.00元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:029431-01

相关课程教材推荐

ISBN	书 名	作 者
9787302184287	Java 课程设计(第二版)	耿祥义
9787302131755	Java 2 实用教程(第三版)	耿祥义
9787302135517	Java 2 实用教程(第三版)实验指导与习题解答	耿祥义
9787302184232	信息技术基础(IT Fundamentals)双语教程	江 红
9787302177852	计算机操作系统	郁红英
9787302178934	计算机操作系统实验指导	郁红英
9787302179498	计算机英语实用教程(第二版)	张强华
9787302180128	多媒体技术与应用教程	杨 青
9787302177081	计算机硬件技术基础(第二版)	曹岳辉
9787302176398	计算机硬件技术基础(第二版)实验与实践指导	曹岳辉
9787302143673	数据库技术与应用——SQL Server	刘卫国
9787302164654	图形图像处理应用教程(第二版)	张思民
9787302174622	嵌入式系统设计与应用	张思民
9787302148371	ASP.NET Web 程序设计	蒋 培
9787302180784	C++程序设计实用教程	李 青
9787302172574	计算机网络管理技术	王 群
9787302177784	计算机网络安全技术	王 群
9787302176404	单片机实践应用与技术	马长林

以上教材样书可以免费赠送给授课教师,如果需要,请发电子邮件与我们联系。

教学资源支持

敬爱的教师:

感谢您一直以来对清华版计算机教材的支持和爱护。为了配合本课程的教学需要,本教材配有配套的电子教案(素材),有需求的教师可以与我们联系,我们将向使用本教材进行教学的教师免费赠送电子教案(素材),希望有助于教学活动的开展。

相关信息请拨打电话 010-62776969 或发送电子邮件至 fuhy@tup.tsinghua.edu.cn 咨询,也可以到清华大学出版社主页(<http://www.tup.com.cn> 或 <http://www.tup.tsinghua.edu.cn>)上查询和下载。

如果您在使用本教材的过程中遇到了什么问题,或者有相关教材出版计划,也请您发邮件或来信告诉我们,以便我们更好为您服务。

地址:北京市海淀区双清路学研大厦 A 座 708 计算机与信息分社付弘宇 收

邮编:100084

电子邮件:fuhy@tup.tsinghua.edu.cn

电话:010-62770175-4518

邮购电话:010-62786544

出版说明

随着我国改革开放的进一步深化,高等教育也得到了快速发展,各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度,通过教育改革合理调整和配置了教育资源,优化了传统学科专业,积极为地方经济建设输送人才,为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是,高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要,不少高校的专业设置和结构不尽合理,教师队伍整体素质亟待提高,人才培养模式、教学内容和方法需要进一步转变,学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月,教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》,计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程(简称‘质量工程’)”,通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容,进一步深化高等学校教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中,各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势,对其特色专业及特色课程(群)加以规划、整理和总结,更新教学内容、改革课程体系,建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上,经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议,清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程,分别规划出版系列教材,以配合“质量工程”的实施,满足各高校教学质量和教学改革的需要。

本系列教材立足于计算机公共课程领域,以公共基础课为主、专业基础课为辅,横向满足高校多层次教学的需要。在规划过程中体现了如下一些基本原则和特点。

(1) 面向多层次、多学科专业,强调计算机在各专业中的应用。教材内容坚持基本理论适度,反映各层次对基本理论和原理的需求,同时加强实践和应用环节。

(2) 反映教学需要,促进教学发展。教材要适应多样化的教学需要,正确把握教学内容和课程体系的改革方向,在选择教材内容和编写体系时注意体现素质教育、创新能力与实践能力的培养,为学生的知识、能力、素质协调发展创造条件。

(3) 实施精品战略,突出重点,保证质量。规划教材把重点放在公共基础课和专业基础课的教材建设上;特别注意选择并安排一部分原来基础比较好的优秀教材或讲义修订再版,逐步形成精品教材;提倡并鼓励编写体现教学质量和教学改革成果的教材。

(4) 主张一纲多本,合理配套。基础课和专业基础课教材配套,同一门课程可以有针对不同层次、面向不同专业的多本具有各自内容特点的教材。处理好教材统一性与多样化,基本教材与辅助教材、教学参考书,文字教材与软件教材的关系,实现教材系列资源配套。

前 言

“计算机组成与系统结构”是计算机科学与技术学科的专业基础课,其教学目的在于帮助学生建立计算机系统的完整概念,学习计算机系统的分析方法和设计方法,了解计算机系统的最新研究成果。

本书以计算机组成和系统结构的基本概念和原理为核心,系统介绍新型多核计算机系统的 CPU、存储器、总线和 I/O 系统的硬件组成与工作原理,同时介绍并行计算机系统的发展趋势。

概括起来,本书具有以下特点:

- 针对应用型人才培养目标,对课程内容进行重新设计,去除芯片级、电路(接线)级内容,只保留模块组成、基本原理等逻辑层内容,而把省下来的篇幅集中于介绍新技术、新思想和新方法,尤其是计算机的核心部件——CPU,使教学内容更加贴近计算机发展的现实。
- 兼顾理论性与应用性,引入新型计算机技术成果(如酷睿 2 CPU、多核技术、PCI Express 总线、SATA 接口、网格计算等),满足学生对新颖、实用计算机知识的需求。
- 用通俗易懂的文字深入浅出地介绍计算机系统的基本原理和新技术、新知识,经典理论叙述清楚、透彻,易于理解,新知识资料翔实,贴近实际应用和未来发展。

在本书的基础上,编者设计了新型“计算机组成与系统结构”课程,构建了以计算机组成和系统结构基本理论为核心、重点介绍新型多核计算机系统组成与工作原理的教学体系。其主要特色包括:国际化的教学内容与“理论+应用”的教学体系;基于应用型人才培养特点的教学设计;基于知识结构和知识点的自主学习方式;多元化、立体化的教学互动交流;多渠道、全方位的学习支持服务体系。经教育部组织专家评审,“计算机组成与系统结构”课程获选为 2007 年度国家精品课程(网络教育)。课程网站(<http://jpkc.onlinesjtu.com/jsjzc/>)提供教学大纲、教学课件、教学录像、教学中重点难点的动画演示等编者精心制作的教学辅助资源,需要的教师和读者可以免费下载。

本书共分 8 章,具体内容如下:

- 第 1 章计算机系统概论。本章主要介绍计算机系统的基本情况,包括计算机的分类、发展历史、应用领域,以及计算机的软硬件组成,最后介绍计算机系统的几个主要概念。
- 第 2 章运算方法和运算器。本章主要介绍计算机中数值数据、非数值数据的表示,以及定点、浮点运算方法,最后介绍作为 CPU 一部分的定点、浮点运算器。
- 第 3 章存储系统。本章主要介绍计算机的存储系统,包括存储器芯片、主存储器、高

速存储器、高速缓存 cache、虚拟存储器和存储保护。

- 第4章指令系统。本章介绍计算机指令的格式、分类和寻址方式,最后介绍几个典型的指令系统。
- 第5章中央处理器(CPU)。本章首先介绍CPU的功能、组成、工作过程,以及两类主要的操作控制器,然后介绍几项CPU新技术,包括流水线技术、SIMD技术、RISC技术、超线程/多核技术、动态执行技术和低功耗管理技术,最后介绍几个典型的CPU。
- 第6章总线系统。本章介绍计算机总线系统的基本概念、控制与通信方式,以及几个典型的总线系统。
- 第7章输入输出(I/O)系统。本章介绍计算机的输入输出控制方式,重点介绍程序中断、DMA、通道这三种常用方式,最后介绍几个典型的通用I/O接口。
- 第8章并行计算机系统。本章介绍计算机系统中的并行性技术,包括向量处理机、阵列处理机、多处理机系统、机群系统和网格计算。

本教材建议学时数为54~72学时,可根据实际需要授课内容进行取舍。

本书可作为高等院校计算机及相关学科本科生的专业基础课教材,也适合现代远程教育、成人教育学生使用,还可供从事计算机工作的工程技术人员参考。

本书由陈泽宇主编,负责全书的总体规划与内容组织,并对全书进行统稿、修改、审校和定稿。书中各章节由陈泽宇、章晓卿、谷红亮、吴玉萍、高万萍编写,陈刚、叶强也参与了部分章节的编写工作,张爱新、陈秀真参与了初稿的审稿工作。

上海交通大学计算机科学与工程系博士生导师申瑞民教授和 Intel 软件学院中国区经理郎朗先生对本书的编写给予了大力支持,在此表示感谢。

在本书的编写过程中,编者参考了相关的文献、资料及网站,在此谨向原作者表示感谢,若有遗漏,谨表歉意。

由于计算机技术的飞速发展,加上编者水平有限且时间仓促,书中欠缺与不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。如果在本书和配套资源的使用中有任何问题或建议,请联系 fuhy@tup.tsinghua.edu.cn。

编者

2008年7月于上海交通大学

目 录

第 1 章 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	2
1.1.2 计算机的发展概况	2
1.1.3 计算机的应用	5
1.2 计算机的基本组成	8
1.2.1 计算机硬件	8
1.2.2 计算机软件	13
1.2.3 软件与硬件的逻辑等价性	16
1.3 计算机系统的概念	16
1.3.1 计算机系统的层次结构	16
1.3.2 计算机系统的三个术语	17
1.3.3 计算机体系结构的分类	18
习题	20
第 2 章 运算方法和运算器	22
2.1 数据信息的表示	22
2.1.1 数值数据的表示	22
2.1.2 非数值数据的表示	34
2.1.3 数据信息的校验	40
2.2 定点运算和定点运算器	42
2.2.1 定点加、减法运算	42
2.2.2 定点乘、除法运算	44
2.2.3 逻辑运算	45
2.2.4 定点运算器的组成	46
2.3 浮点运算和浮点运算器	50
2.3.1 浮点数的加、减法运算	50
2.3.2 浮点数的乘、除法运算	55
2.3.3 浮点运算流水线	55

2.3.4 浮点运算器实例	59
习题	61
第3章 存储系统	63
3.1 存储器概述	63
3.1.1 基本概念	63
3.1.2 存储器的分类	63
3.1.3 存储器的分级结构	64
3.1.4 存储器的基本构成	65
3.2 半导体存储器芯片	66
3.2.1 随机读写存储器	66
3.2.2 只读存储器	66
3.3 主存储器	68
3.3.1 主存储器的技术指标	68
3.3.2 主存储器的基本组成	69
3.3.3 主存储器的扩展	70
3.4 高速存储器	72
3.4.1 双端口存储器	72
3.4.2 多模块交叉存储器	72
3.4.3 相联存储器	75
3.5 高速缓冲存储器	76
3.5.1 cache 基本原理	76
3.5.2 地址映射	78
3.5.3 替换策略	79
3.5.4 写操作策略	80
3.5.5 Pentium PC 机的 cache	81
3.6 虚拟存储器	81
3.6.1 虚拟存储器基本原理	81
3.6.2 页式虚拟存储器	83
3.6.3 段式虚拟存储器	84
3.6.4 段页式虚拟存储器	85
3.6.5 替换算法	86
3.6.6 Pentium PC 机的虚拟地址模式	86
3.7 存储保护	87
3.7.1 存储区域保护	87
3.7.2 访问方式保护	89
习题	89

第 4 章 指令系统	92
4.1 指令系统概述	92
4.1.1 指令系统的发展	92
4.1.2 指令系统的性能要求	93
4.2 指令格式	93
4.2.1 操作码	94
4.2.2 地址码	94
4.2.3 指令字长度	95
4.2.4 指令助记符	96
4.3 指令分类	96
4.4 寻址方式	98
4.4.1 指令寻址方式	98
4.4.2 操作数寻址方式	99
4.4.3 堆栈寻址方式	104
4.5 指令系统实例	107
4.5.1 8086/8088 指令系统	107
4.5.2 Pentium 指令系统	109
4.5.3 Pentium 4 指令系统	109
4.5.4 Core 2 指令系统	110
习题	111
第 5 章 中央处理器	113
5.1 CPU 的功能和组成	113
5.1.1 CPU 的基本功能	114
5.1.2 CPU 的基本组成	114
5.1.3 CPU 中的主要寄存器	115
5.1.4 操作控制器和时序发生器	117
5.2 CPU 的工作过程	118
5.2.1 指令的执行过程	118
5.2.2 指令周期	119
5.2.3 时序发生器	124
5.2.4 控制方式	125
5.3 操作控制器	126
5.3.1 组合逻辑控制器	126
5.3.2 微程序控制器	127
5.3.3 组合逻辑控制器与微程序控制器的比较	132
5.4 CPU 新技术	132
5.4.1 并行处理技术概述	132

5.4.2	流水线技术	133
5.4.3	SIMD 技术	139
5.4.4	RISC 技术	142
5.4.5	超线程/多核技术	144
5.4.6	动态执行技术	145
5.4.7	低功耗管理技术	148
5.5	CPU 实例	150
5.5.1	8086/8088 CPU	150
5.5.2	Pentium CPU	151
5.5.3	Pentium 4 CPU	154
5.5.4	Core 2 CPU	156
	习题	158
第 6 章	总线系统	161
6.1	总线系统概述	161
6.1.1	总线的基本概念	161
6.1.2	总线的内部结构	163
6.1.3	总线接口	165
6.1.4	总线的连接方式	166
6.2	总线的控制与通信	169
6.2.1	总线的控制	169
6.2.2	总线的通信	171
6.2.3	信息传送方式	172
6.3	总线系统实例	174
6.3.1	ISA 总线	174
6.3.2	PCI 总线	175
6.3.3	AGP 总线	176
6.3.4	PCI Express 总线	177
	习题	179
第 7 章	输入输出(I/O)系统	180
7.1	输入输出控制方式	180
7.2	程序中断方式	182
7.2.1	中断的基本概念	182
7.2.2	单级中断与多级中断	182
7.2.3	中断控制器	183
7.3	DMA 方式	185
7.3.1	DMA 基本概念	185
7.3.2	基本的 DMA 控制器	185

7.3.3	选择型和多路型 DMA 控制器	187
7.4	通道方式	188
7.4.1	通道的功能	188
7.4.2	通道的工作过程	190
7.4.3	通道的类型	190
7.5	通用 I/O 接口	191
7.5.1	RS-232 接口	191
7.5.2	IDE 接口	192
7.5.3	SATA 接口	193
7.5.4	USB 接口	194
7.5.5	SCSI 接口	195
7.5.6	IEEE-1394 接口	196
	习题	197
第 8 章	并行计算机系统	198
8.1	并行性的概念	198
8.1.1	并行性分类	199
8.1.2	提高并行性的技术途径	200
8.1.3	并行性的发展	200
8.1.4	并行计算机体系结构分类	201
8.2	向量处理机	202
8.2.1	向量处理的基本概念	202
8.2.2	向量处理机的结构	204
8.3	阵列处理机	209
8.3.1	阵列处理机的操作模型和特点	209
8.3.2	阵列处理机的基本结构	210
8.4	多处理机系统	212
8.4.1	多处理机系统的特点和分类	212
8.4.2	多处理机的 cache 一致性	215
8.4.3	多处理机系统实例	216
8.5	机群系统	217
8.5.1	机群的定义	217
8.5.2	机群的优缺点	218
8.5.3	机群的分类	219
8.5.4	机群的体系结构	219
8.6	网格计算	220
	习题	221
	参考文献	222

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。

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 Computer, PC)和便携计算机(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 所示的是美国 SGI 公司(Silicon Graphics, Inc.)为美国国家航空和宇宙航行局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)制造的 Columbia 超级计算机。图 1-2 所示的是在 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

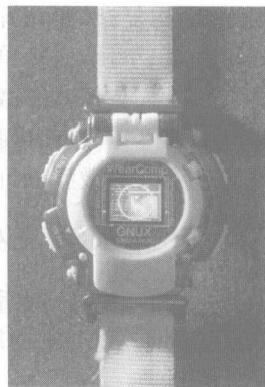


图 1-2 手表计算机

1.1.1 计算机的分类

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来划分,计算机可分为通用计算机和专用计算机两大类。

通用计算机功能齐全,通用性强,适应面广,可完成各种各样的工作,但是牺牲了效率、速度和经济性。

专用计算机是专为某些特定问题而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来得简单,具有可靠性高、速度快、成本低的优点,是最有效、最经济和最快速的计算机,但是其适应性很差。

2. 通用计算机分类

通用计算机又可分为超级计算机(Supercomputer)、大型机(Mainframe)、服务器(Server)、工作站(Workstation)、微型机(Microcomputer)和单片机(Single-Chip Computer) 6类,它们的区别在于体积、复杂度、功耗、性能指标、数据存储容量、指令系统规模和价格,如图1-3所示。

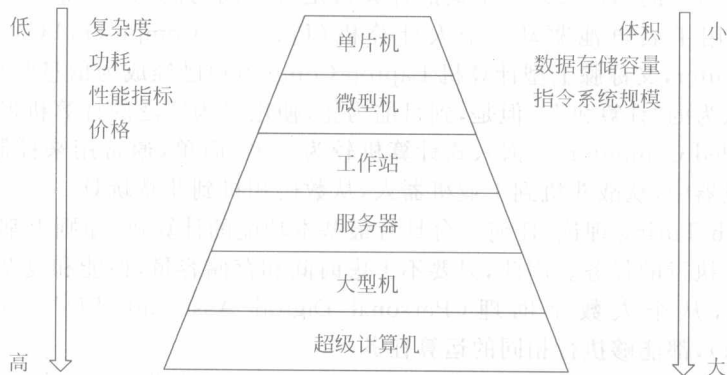


图 1-3 通用计算机的分类

一般而言,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,数据存储容量很大,结构复杂,价格昂贵。单片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、服务器彼此之间的界限也在发生变化,今天的工作站有可能是明天的微型机,而今天的微型机也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,他们往往借助于某种机械运算装置来完成数值运算工作。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. 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 18000 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 5000 次加减运算。以今天的眼光来看,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,奠定了现代电子数字计算机的基础。

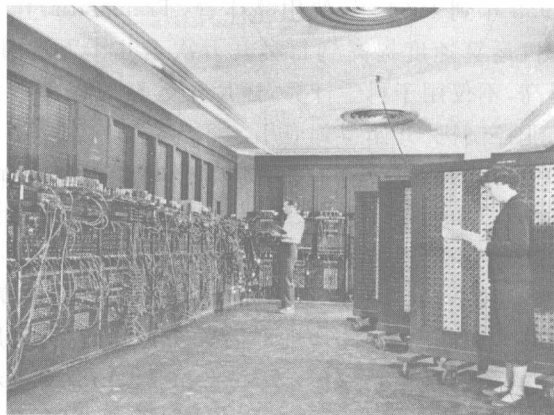


图 1-4 世界上第一台通用电子数字计算机 ENIAC

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,提出了一种灵活、合理得多的设计,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,依照程序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。

由于早在 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。

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 代的变化,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
第一代	1946—1957	电子管	几千至几万	数据处理机
第二代	1958—1964	晶体管	几万至几十万	工业控制机
第三代	1965—1970	小规模/中规模集成电路	几十万至几百万	小型计算机
第四代	1971—1985	大规模/超大规模集成电路	几百万至几千万	微型计算机
第五代	1986 年至今	甚大规模集成电路	几亿至上百亿	单片计算机

第一代计算机从1946年到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结构,确定了程序设计的基本方法,“数据处理机”开始得到应用。

第二代计算机从1958年到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。

第三代计算机从1965年到1970年,使用小规模集成电路(Small-Scale Integration, SSI)与中规模集成电路(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。

第四代计算机从1971年到1985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。到了20世纪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生产以空前的商业规模进行,因此晶体管计算机逐渐取而代之。到了20世纪70年代,集成电路技术的采用和其后续处理器的产生,导致计算机在尺寸、速度、价格和可靠性上有了一次新的飞跃。到了20世纪80年代,计算机的尺寸已经变得足够小,价格便宜,能够取代诸如洗衣机等家用电器中的简单机械控制装置。与此同时,计算机也被个人广泛使用,成为现在无处不在的个人计算机。自从20世纪90年代以来,随着互联网的普及与成长,个人计算机变得与电视和电话一样普及,几乎所有的现代电子设备都会包含某种形式的计算机在内。

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、方便用户使用为目的,不断采用新的器件、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。