



普通高等教育“十二五”规划教材
高等院校计算机系列教材

Jisuanji Zucheng Yu Xitongjiegou

计算机组成与系统结构

(第2版)

陈书开 王毅 熊江 ◎ 主编



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

普通高等教育“十二五”规划教材
高等院校计算机系列教材

计算机组成与系统结构

(第2版)

主 编	陈书开	王 毅	熊 江
副主编	任文进	黄 敏	周云霞
	向永生	方 刚	

华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 简 介

本书包括“计算机组成原理”和“系统结构”两门课程的主要内容,力求与当代先进的计算机科学与技术相结合,全书共分为12章:计算机系统概论、数据的表示方法和数据校验、运算方法及算术逻辑运算部件、主存储器与Cache、指令系统的设计、中央处理器(CPU)与设计(流水线CPU和多核CPU)、辅助存储器与虚拟存储器、系统总线、输入/输出(I/O)系统、输入/输出(I/O)设备、流水线与流水处理机、并行技术与多处理机等。本教材根据计算机科学的理论、抽象和设计三种形态,力求贯彻“一条红线,三个结合”,以符合社会的需要,适用、实用、能用、通用,方便教学和自学,形成完整的知识体系结构,培养学生的初步设计能力为红线贯通全书。坚持理论知识与实际应用相结合,抽象概念与基本原理相结合,设计技术与功能部件相结合。

本书内容全面新颖、结构合理、概念清楚、讲述严谨、逻辑性强,可作为普通高等院校的计算机专业及相关专业学生学习“计算机组成原理”和“系统结构”课程的教科书,也可作高等职业技术学院的有关计算机专业学生学习“计算机组成原理”课程的教科书,还可供从事计算机研发的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成与系统结构(第2版)/陈书开 王毅 熊江 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2010.9
ISBN 978-7-5609-6437-9

I. 计… II. ①陈… ②王… ③熊… 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(2010)第142607号

计算机组成与系统结构(第2版)

陈书开 王毅 熊江 主编

策划编辑:黄金文

责任编辑:黄金文 余运萍

封面设计:范翠璇

责任校对:张琳

责任监印:熊庆玉

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉众欣图文照排

印 刷:武汉市新华印刷有限责任公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:27.75

字 数:671千字

版 次:2010年9月第2版第1次印刷

定 价:39.80元



华中科大

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

第2版前言

“计算机组成原理”和“系统结构”是高等院校计算机科学与技术专业及相关专业的两门核心专业基础课。有的学校已将“计算机组成原理”和“系统结构”这两门课程合并为一门课程,80至90学时。本教材就是为了满足不同学校的“计算机组成原理”和“系统结构”课程教学需要而编写的。“计算机组成原理”和“系统结构”两门课程合起来上课可以使用这本教材,这两门课程分开上课使用这本教材也可以满足要求。比分别使用两本教材具有更多的优越性,不仅可以减轻学生经济负担,且还可以减少大量重复的内容。

为了适应计算机专业发展,更好地满足“计算机组成原理”和“系统结构”两门课程的教学需要,我们不断更新课程的教学内容。因此,本次修订对原教材的结构和内容作了较大调整和修改,删除了一些内容,增加了许多设计举例和新的理念、新的方法和新的知识。旨在将原理结构的学习与工程设计实践紧密结合在一起,让学生了解计算机部件设计的基本方法,培养学生的初步设计能力,为学生将来从事计算机系统和芯片设计打下良好的基础。

本课程的先导课程是“数字电路与系统”和“汇编语言程序设计”。前者可帮助学生理解计算机各功能部件工作原理及其逻辑实现的必备基础知识;后者则可使学生了解计算机执行的程序,以及如何用程序来调度管理计算机的各功能部件及外设。本专业的后续课程都是以本课程为基础的。所以,本课程是承上启下的主干课程,是学生必须掌握的重要知识结构。

本课程是一门理论性强且又与实际紧密结合的课程,它的特点是内容覆盖面广,基本概念多,而且又比较抽象,特别是难以建立计算机的整机概念。本教材结合计算机科学的理论、抽象和设计三种形态,讲述计算机组成与设计,并力求与当代先进的计算机技术相结合,重点突出计算机的基本原理和设计方法。旨在使读者建立计算机的整机概念,掌握计算机中各功能部件的工作原理和逻辑实现,包括运算功能部件的设计、存储器系统的设计、指令系统的设计、硬布线控制器的设计、微程序设计技术、数据通路的构成及输入/输出接口的设计等,为分析、设计、开发以及使用计算机打下坚实的基础。

本教材内容由浅入深、由易到难、由单元电路到功能部件、再由功能部件到计算机系统,循序渐进地进行介绍。本教材共分12章,现介绍如下。

第1章计算机系统概论,除了简要介绍整个计算机的发展概况外,还特别介绍了中国计算机的发展概况。讲述了计算机的分类、特点和技术指标、冯·诺依曼计算机的设计思想、计算机的软件与计算机的工作过程,然后讲述计算机系统的基本概念及其应用,目的是为了帮助学生初步建立起计算机系统的整体概念,为学习后续各章的内容打下基础。第2章介绍数据的类型、表示方法、编码方案和数据校验。第3章介绍二进制定点数加减乘除算法和浮点数加减乘除算法,以及运算器的实现。第4章介绍主存储器与Cache,包括SRAM和DRAM半导体存储器,在此基础上再介绍内存储器的设计、并行存储器 and 高速缓冲存储器。第5章讲述指令系统的设计,主要介绍如何设计指令系统,包括机器指令的设计要素和指令的基本格式等内容。本章不重复汇编语言程序设计课程中的内容,这主要是考虑到“系统结

构”课程教学的需要。第6章介绍中央处理器与设计,包括CPU基本功能与结构、时序与控制、硬布线控制器及设计举例、微程序控制器、流水线式CPU、CPU举例和多核处理器。特别需要指出的是此章对微指令的描述有自己的见解。此章对有关硬布线控制器、微程序控制器、阵列逻辑控制器均给出了设计举例,很清楚地分别介绍了硬布线控制器、微程序控制器、阵列逻辑控制器的设计步骤和设计方法,具有实际的指导意义,可以起到举一反三的作用,可供读者进行工程设计实践时参考。第7章介绍辅存与虚拟存储器系统,包括存储器系统的层次结构,辅助存储器(磁盘存储器、磁带存储器、光盘存储器),微型可移动U盘和SSD固态硬盘,最后再介绍虚拟存储器。没有将这些内容放在第4章介绍,考虑到辅存属于外设,而内存则属于主机的一部分,把辅存与虚拟存储器系统单独放在一起介绍较为合适。这两者联系紧密,辅存是虚拟存储器系统必要的物质基础。这样编排,层次非常清晰。第8章主要介绍总线的基本概念、总线仲裁和协议、PCI总线和外部通信总线。第9章主要介绍程序直接控制方式、程序中断方式、直接存储器访问(DMA)方式、通道控制方式和输入/输出处理机(IOP)。第8章和第9章在第1版的基础上进行了大量补充和修改,且增加了不少习题和参考答案。第10章主要介绍输入设备和输出设备。第11章介绍流水技术与流水处理机,着重介绍流水线的工作原理和控制方法,以及流水处理机性能的定量分析方法;介绍指令级高度并行的超标量处理机、超流水处理机和超长指令字处理机等多发射处理机的基本结构及其性能计算方法;最后介绍向量的处理方式、向量流水处理机和超级处理机。第12章介绍并行处理机与多处理机,主要介绍阵列处理机和多处理机的基本结构特点,并行处理算法,并行处理机的互连网络;多处理机的Cache一致性问题,多处理机的并行算法,多处理机的操作系统,最后简要介绍多处理机的一个实例及机群系统和计算模型。

根据本课程教学的要求和特点,从社会实际出发,本教材力求贯彻“一条红线,三个相结合”。一条红线:以符合社会的需要,适用、实用、能用、通用,方便教学和自学,让学生了解完整的知识体系结构,培养学生的初步设计能力为红线,贯通全书。三个相结合:①理论知识与实际应用相结合;②抽象概念与基本原理相结合;③设计技术与功能部件相结合。这样较好地反映出了计算机科学的三种形态。

本教材的第1章、第4章、第6章和第7章由长沙理工大学陈书开老师编写,第8章和第9章由湘潭大学王毅老师编写并制作,第5章由三峡学院熊江老师和方刚老师共同编写,第2章和第3章由长沙理工大学黄敏老师编写,第10章由陈书开老师改编,第11章和第12章由湖南师范大学任文进老师编写,本教材由陈书开教授负责统编全稿,对有些章节中的内容进行了一些调整、修改和补充,并增加了一些习题。

本教材已被列入长沙理工大学规划教材,陈沅涛老师为申报规划教材做了工作。

本教材是在我们原来编写的《计算机组成与系统结构》(第1版)的基础上进行改编的,并参考融入了大量资料(包括有关网络文件和PPT课件)中的有关内容,在此对有关作者们一并表示诚挚的谢意。

计算机科学技术飞速发展,可谓日新月异,教材的时效性强。限于时间和编者水平,本教材中不妥或错误之处在所难免,恳请读者赐教指正。

本教材配有电子课件PPT,若需要请与华中科技大学出版社联系。

编 者

2010年5月

第 1 版前言

“计算机组成与系统结构”是高等院校计算机科学与技术专业及相关专业的一门核心专业基础课。本课程的前修课程是“数字电路与系统”和“汇编语言程序设计”。数字电路知识是理解计算机各功能部件工作原理及其逻辑实现的必备基础；而汇编语言程序设计，则可使学生了解计算机的执行对象——程序，且如何用程序来调度管理计算机的各功能部件及外设。本课程的后续课程的“微机接口技术及应用”及专业的其他课程都是以本课程为基础的。所以，从教学上，本课程是承上启下的主干课程，是必须掌握的重要知识结构。

本课程是一门理论性强且又与实际紧密结合的课程，它的特点是内容覆盖面广，基本概念多，而且又比较抽象。本教材结合计算机科学的理论、抽象和设计三种形态，讲述计算机组成与系统结构及内部工作机制，重点突出计算机的基本原理、基本知识和基本技巧，并力求与当代先进的计算机技术相结合。旨在使读者建立计算机的整机概念，掌握计算机中各功能部件的工作原理和逻辑实现，包括运算功能部件的设计、控制器的控制方法、CPU 的构成、存储器系统的设计、数据通路的构成及输入/输出接口的设计等，并相互连接，组成单机系统，为分析、设计、开发以及使用计算机打下坚实的基础。

本教材内容由浅入深、由易到难、由单元电路到功能部件、再由功能部件到计算机系统、循序渐进地进行介绍。可以分为以下五部分。

第 1 部分：计算机系统概论。先简要介绍计算机的发展概况（包括我国计算机的发展概况），以及计算机的分类、特点和技术指标，然后讲述计算机的硬件、软件、系统结构的基本概念及其应用。目的是为了帮助学生初步建立起计算机系统的整体概念和掌握常用术语，为学习后续各章的内容打下基础。

第 2 部分：运算器、控制器和微处理器（CPU）。第 2 章介绍数据的类型、表示方法、编码方案和数据校验；第 3 章介绍二进制定点数加减乘除算法和浮点数加减乘除算法，以及运算器的实现；第 4 章介绍指令系统；第 5 章介绍如何实现微程序控制和硬布线控制。在第 2 章至第 5 章的基础上，第 6 章列举了几个 CPU 的例子，龙芯 CPU 也在其中。

第 3 部分：存储器系统。第 7 章先介绍 SRAM 和 DRAM 半导体存储器，在此基础上再介绍内存储器的设计、并行存储器、相联存储器 and 高速缓冲存储器，然后讲述磁盘存储器、磁带存储器、光盘存储器，最后再介绍虚拟存储器，形成一个完整的多级存储结构体系。把高速缓冲存储器、内存储器、外存储器和虚拟存储器都放在这一章介绍，内容紧凑，便于读者建立存储系统的整体概念。

第 4 部分：系统总线、输入/输出设备。第 8 章主要介绍总线的基本概念和微机总线；第 9 章主要介绍程序直接控制方式、程序中断方式、直接存储器访问（DMA）方式、通道控制方式和输入/输出处理机（IOP）；第 10 章主要介绍输入设备和输出设备。

第 5 部分：计算机系统结构。第 11 章介绍流水线的概念、流水线的性能、流水线的处理、非线性流水线的调度、流水线中的多发技术；第 12 章主要介绍计算机系统的分

类、向量计算机、阵列处理机和多处理机系统。

现在有许多高校为了节省课时,把“计算机组成原理”课程和“计算机系统结构”课程合并为一门课程,叫做“计算机组成与系统结构”课程,这种情况选用本教材比较适合;另外也有的高校先开“计算机组成原理”课程,在后续课程中再开“计算机系统结构”课程。本教材前10章包括了“计算机组成原理”课程的全部内容。所以,本教材既可作为“计算机组成原理”课程的教材,又可作为“计算机组成与系统结构”课程的教材。教师可以根据情况对第5部分的内容进行取舍。

为了既要符合本课程教学的要求,又要便于学生学习的需要,本教材力求做到以下几点。

- (1) 内容全面,结构合理,层次分明;
- (2) 理论联系实际,基本概念清楚,逻辑性强;
- (3) 适当介绍一些基本逻辑部件,解决抽象难懂的问题;
- (4) 突出重点和难点及相关内容的联系;
- (5) 适当介绍一些设计举例;
- (6) 尽量反映该领域中的最新研究成果。

本教材的第1章和第7章由长沙理工大学陈书开教授编写,第8章和第9章由湘潭大学王毅副教授编写,第4章和第5章由湖南人文科技学院成运副教授编写,第2章、第11章和第12章由长沙理工大学黄敏副教授编写,第6章和第10章由湖南师范大学周云霞老师编写,第3章由长沙理工大学向永生老师编写。长沙理工大学龙际珍老师参与了部分编写工作。本教材最后由陈书开教授统一定稿。

本教材在编写过程中,得到了长沙理工大学乐晓波教授的大力支持,参考了大量的文献资料,包括网上文献资料和电子文献资料,在此一并表示诚挚的谢意。

由于作者的水平有限,本教材中难免有不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2005年5月

高等院校计算机系列教材

编 委 会

主 任：刘 宏

副 主 任：全惠云

编 委：（以姓氏笔画为序）

王志刚	王 毅	乐小波	刘先锋	刘连浩
刘 琳	羊四清	阳西述	许又全	陈书开
陈倩诒	邱建雄	杨凤年	李勇帆	李 浪
张 文	张小梅	何昭青	何迎生	周 昱
罗新密	胡玉平	郭广军	徐雨明	徐长梅
高金华	黄同成	符开耀	龚德良	谭敏生
谭 阳	熊 江	戴经国	瞿绍军	

执行编委：黄金文

目 录

第 1 章 计算机系统概论	1	2.3.3 IEEE754 标准	42
1.1 电子计算机的发展概况	1	2.4 非数值数据的表示方法	43
1.1.1 计算机的产生	1	2.4.1 逻辑数据	43
1.1.2 国外计算机发展简介	1	2.4.2 字符的表示方法	43
1.1.3 中国计算机发展简介	2	2.4.3 汉字的表示方法	45
1.1.4 计算机的发展趋势	5	2.4.4 其他信息的表示	46
1.2 计算机的分类、特点和技术指标	6	2.5 数据校验	46
1.2.1 计算机的分类	6	2.5.1 奇偶校验	47
1.2.2 计算机的特点	7	2.5.2 海明码校验	49
1.2.3 计算机的主要技术指标	8	2.5.3 循环冗余校验	52
1.3 计算机基本结构及设计思想	9	习题二	55
1.3.1 冯·诺依曼计算机的设计思想	9	第 3 章 运算方法及运算部件	56
1.3.2 计算机的基本结构	10	3.1 二进制串行加法器和十进制加法器	56
1.4 计算机的软件与计算机的工作过程	13	3.2 定点数的运算	58
1.4.1 软件的发展演变	13	3.2.1 定点补码加、减运算	58
1.4.2 计算机的工作过程	14	3.2.2 加、减运算的溢出处理	61
1.5 计算机软件与硬件的逻辑等价性	19	3.3 定点数乘法运算	63
1.6 计算机系统结构的基本概念	19	3.3.1 定点数的位移运算	63
1.6.1 计算机的层次结构	19	3.3.2 原码一位乘法和两位乘法	65
1.6.2 计算机组成与系统结构的概念	21	3.3.3 补码一位乘法和两位乘法	68
1.6.3 计算机系统结构中并行性的发展	22	3.3.4 阵列乘法器	72
1.7 计算机的应用	24	3.4 定点数除法运算	74
习题一	26	3.4.1 原码一位除法	74
第 2 章 数据的表示方法和数据校验	28	3.4.2 原码加减交替除法	76
2.1 数据的表示方法及其转换	28	3.4.3 补码一位除法	78
2.1.1 数制	28	3.4.4 阵列除法器	80
2.1.2 计算机为什么采用二进制	29	3.5 定点运算器的组成与结构	80
2.1.3 不同数制间的数据转换	29	3.5.1 二进制并行加法器	81
2.1.4 数据符号的表示	31	3.5.2 多功能算术逻辑单元 SN74181	84
2.1.5 十进制数的编码与运算	31	3.5.3 双极型位片式运算器 AM29C101	87
2.2 无符号数和有符号数	33	3.5.4 定点运算器的基本结构	88
2.2.1 无符号数	33	3.6 浮点数的运算方法与浮点运算器	89
2.2.2 有符号数及其编码	33	3.6.1 浮点数的加、减运算	89
2.3 定点数和浮点数	39	3.6.2 浮点数的乘、除法运算	91
2.3.1 数的定点表示	39	3.6.3 浮点运算器的组成	93
2.3.2 数的浮点表示	40		

习题三	93	5.2.1 机器指令的组成要素	148
第4章 主存储器与 Cache	96	5.2.2 指令的表示和类型	149
4.1 存储器系统概述	96	5.2.3 指令集应考虑的各种因素	150
4.1.1 存储器系统的 Cache—主存层次结构 ...	96	5.3 指令的基本格式	151
4.1.2 存储器分类	96	5.3.1 指令的一般格式	151
4.1.3 主存储器的主要性能指标	100	5.3.2 操作码的编码技术	151
4.2 半导体读/写存储器	101	5.3.3 地址码的安排	152
4.2.1 静态随机读/写存储器(SRAM)	101	5.3.4 指令的字长	153
4.2.2 动态随机读/写存储器(DRAM)	106	5.4 操作类型和操作数类型	154
4.2.3 存储器芯片的读/写时序	108	5.4.1 操作类型	154
4.2.4 DRAM的刷新	110	5.4.2 操作数类型	156
4.3 半导体只读存储器和闪速存储器	112	5.5 指令寻址方式和操作数寻址方式	157
4.3.1 固定掩膜只读存储器(ROM)	112	5.5.1 指令寻址方式(包括顺序寻址、跳跃寻址)	157
4.3.2 一次编程只读存储器(PROM)	112	5.5.2 操作数寻址方式	158
4.3.3 可擦除可编程只读存储器(EPROM)	113	5.6 CISC 和 RISC 的指令系统	165
4.3.4 闪速存储器	114	5.6.1 复杂指令系统计算机 CISC	165
4.4 主存储器的组成与设计	116	5.6.2 精简指令系统计算机 RISC	166
4.4.1 主存储器存储单元的分配	116	5.6.3 RISC 和 CISC 的比较	167
4.4.2 主存储器与 CPU 的连接	117	习题五	168
4.4.3 主存储器的设计	121	第6章 中央处理器与设计	171
4.5 并行读/写存储器	123	6.1 CPU 的基本功能与结构	171
4.5.1 双端口存储器	124	6.1.1 CPU 的基本功能	171
4.5.2 单体多字存储器	127	6.1.2 CPU 的基本结构	172
4.5.3 多体交叉存储器	128	6.1.3 算术/逻辑运算器的功能	173
4.6 相联存储器	129	6.1.4 控制器的结构及功能	173
4.6.1 相联存储器的基本原理	129	6.1.5 寄存器与总线接口	175
4.6.2 相联存储器的基本组成	130	6.2 时序与控制	176
4.7 高速缓冲存储器(Cache)	131	6.2.1 指令周期	177
4.7.1 Cache 的功能	131	6.2.2 时序信号发生器	177
4.7.2 Cache 的基本原理及结构	132	6.2.3 控制方式	180
4.7.3 Cache 的读/写操作和命中率	135	6.3 硬布线控制器的组成与设计	181
4.7.4 地址映像	137	6.3.1 基本概念	181
4.7.5 替换算法	140	6.3.2 硬布线控制器的基本原理	182
4.7.6 Pentium II 的 Cache 组织	141	6.3.3 硬布线控制器的设计步骤	183
习题四	143	6.3.4 硬布线控制器设计举例	185
第5章 指令系统的设计	147	6.3.5 阵列逻辑控制器	189
5.1 指令系统的作用和性能要求	147	6.3.6 指令执行过程举例	192
5.1.1 指令系统的作用	147	6.4 微程序控制器结构原理	195
5.1.2 对指令系统的性能要求	147	6.4.1 微程序控制的基本概念	195
5.2 机器指令的设计要素	148	6.4.2 微程序控制器的基本结构	196

6.4.3 微程序控制的基本原理	199	8.2 总线的基本概念	264
6.4.4 微程序控制器和硬布线控制器的比较	202	8.2.1 总线的作用及分类	264
6.5 微程序设计技术	203	8.2.2 总线的特性与标准	265
6.5.1 微指令的编码方式	203	8.2.3 总线的连接方式	266
6.5.2 微地址的形成方法	205	8.2.4 总线的数据传送方式	267
6.5.3 微指令的格式	207	8.3 总线仲裁和协议	268
6.5.4 微程序设计举例	209	8.3.1 总线仲裁	268
6.6 流水线式 CPU	212	8.3.2 总线协议	270
6.6.1 并行处理技术	212	8.4 PCI 总线	272
6.6.2 流水线式 CPU 的结构	214	8.4.1 PCI 总线的特点	272
6.6.3 流水线中的主要问题及解决方法	216	8.4.2 PCI 总线信号定义	274
6.7 CPU 举例	216	8.4.3 PCI 总线周期类型和操作	279
6.7.1 早期 Intel 系列 CPU 简介	216	8.4.4 PCI 总线仲裁器	285
6.7.2 早期 Pentium 系列 CPU	219	8.5 外部通信总线	286
6.7.3 RISC 处理器	221	8.5.1 RS-232C 串行通信总线	286
6.8 多核处理器	224	8.5.2 通用串行总线 USB	288
6.8.1 为什么要发展多核处理器	225	8.6 总线设计要素	289
6.8.2 多核处理器的技术关键	228	习题八	289
习题六	230	第 9 章 输入/输出组成与设计	290
第 7 章 辅存与虚拟存储器系统	235	9.1 输入/输出系统概述	290
7.1 存储器系统的层次结构	235	9.1.1 I/O 接口的基本功能	290
7.1.1 局部性原理	235	9.1.2 I/O 接口的基本组成	291
7.1.2 多级存储器体系结构	236	9.1.3 I/O 设备的编址方式	293
7.1.3 主存-辅存层次结构	236	9.1.4 I/O 接口的类型	294
7.1.4 三级存储层次结构	237	9.2 程序直接控制方式	294
7.2 辅助存储器	238	9.2.1 无条件传送方式	295
7.2.1 磁表面记录原理及记录方式	238	9.2.2 程序查询方式	295
7.2.2 磁盘存储器	241	9.2.3 程序查询方式的接口	295
7.2.3 磁带存储器	245	9.3 程序中断方式	295
7.2.4 光盘存储器	248	9.3.1 中断的基本概念及分类	296
7.3 微型可移动 U 盘和 SSD 固态硬盘	250	9.3.2 中断的请求和中断屏蔽	298
7.3.1 微型可移动 U 盘	250	9.3.3 中断响应和中断处理	301
7.3.2 SSD 固态硬盘	251	9.3.4 中断判优和多重中断	303
7.4 虚拟存储器技术	254	9.3.5 程序中断设备接口和工作原理	308
7.4.1 虚拟存储器的基本概念	254	9.4 直接存储器访问(DMA)方式	309
7.4.2 虚拟存储器的管理方式	255	9.4.1 DMA 方式的基本概念	309
7.4.3 虚拟存储器的工作过程	258	9.4.2 DMA 控制器组成	310
习题七	259	9.4.3 DMA 传送过程	311
第 8 章 系统总线及其互连结构	262	9.4.4 DMA 传输方式	313
8.1 计算机系统的互连结构	262	9.4.5 DMA 控制器与系统的连接方式	314
		9.5 通道控制方式和输入/输出处理机	315

9.5.1 I/O 通道的基本概念	315	11.4.1 局部相关及处理方法	362
9.5.2 I/O 通道的基本功能	316	11.4.2 全局性相关及其处理	366
9.5.3 I/O 通道的类型	316	11.4.3 流水机器的中断处理	368
9.5.4 通道型 I/O 处理机(IOP)和外围处理机	318	11.4.4 非线性流水线调度	369
9.6 输入/输出(I/O)系统的设计	319	11.5 向量流水处理与向量流水处理机	371
习题九	319	11.5.1 向量的流水处理	371
第 10 章 输入/输出(I/O)设备	322	11.5.2 向量流水处理机	372
10.1 概述	322	11.6 指令级高度并行的超级处理机	375
10.1.1 I/O 设备的基本功能	322	11.6.1 超标量处理机	375
10.1.2 I/O 设备的特点	323	11.6.2 超长指令字(VLIW)处理机	376
10.1.3 I/O 设备的分类	324	11.6.3 超流水线处理机	378
10.1.4 I/O 设备与主机的连接	325	习题十一	378
10.2 输入设备	325	第 12 章 并行处理机与多处理机	382
10.2.1 键盘	325	12.1 并行处理机	382
10.2.2 鼠标器	328	12.1.1 并行处理机的基本结构	382
10.2.3 触摸屏	329	12.1.2 并行处理机的特点	385
10.2.4 语音与文字输入系统	331	12.1.3 并行处理机的算法	385
10.2.5 数码相机	333	12.2 并行处理机的互连网络与存储分配	388
10.2.6 数码摄像机	334	12.2.1 并行处理机互连网络的设计目标	388
10.3 输出设备	334	12.2.2 基本的单级互连网络	389
10.3.1 CRT 显示器	334	12.2.3 多级互连网络	392
10.3.2 液晶显示器	342	12.2.4 并行处理机的质数存储系统	398
10.3.3 等离子显示技术	344	12.3 多处理机系统	400
10.3.4 打印设备	344	12.3.1 多处理机系统的特点和分类	400
习题十	351	12.3.2 多处理机 Cache 一致性问题及其解决方法	403
第 11 章 流水技术与流水处理机	352	12.4 多处理机的并行算法	412
11.1 指令重叠与先行控制	352	12.4.1 并行程序设计语言的特点	412
11.1.1 重叠方式	352	12.4.2 并行程序设计模型	412
11.1.2 先行控制技术	353	12.4.3 并行程序设计算法	413
11.2 流水线的时空图与流水线的分类	354	12.5 多处理机的操作系统	420
11.2.1 流水线的时空图	354	12.5.1 多处理机操作系统的复杂性和特点	420
11.2.2 流水线分类	355	12.5.2 多处理机操作系统的类型	422
11.2.3 流水技术的特点	357	12.6 多处理机实例与机群系统及计算模 型简介	424
11.3 流水线的性能	357	习题十二	428
11.3.1 吞吐率(throughput rate)	357	参考文献	431
11.3.2 加速比(speedup ratio)	359		
11.3.3 效率(efficiency)	360		
11.3.4 举例	360		
11.4 流水线的相关处理和控制机构	362		

第 1 章 计算机系统概论

计算机系统是一个由硬件和软件构成的自动化电子数字系统。本章先简要介绍计算机的发展概况、分类、特点和技术指标,然后讲述计算机的设计思想和计算机的工作过程,以及计算机系统结构的基本概念及其应用。目的是为了帮助读者在还未学习后续各章内容之前,先对计算机系统有一个整体概念。

1.1 电子计算机的发展概况

电子数字计算机(electronic digital computer)简称计算机(computer)或电脑,是 20 世纪最伟大的发明之一。这一最伟大的科技成就极大地推动了人类社会的发展,人类已进入了一个前所未有的信息化社会。计算机已成为人们工作和生活中不可缺少的现代化工具。

1.1.1 计算机的产生

在远古社会,人类就以十个手指作为计算工具,进行一些简单的数字计算,在此基础上形成了十进制的计数法。公元前 5 世纪,我们的祖先发明了珠算,算盘作为计算工具先后传到日本等亚洲国家和欧洲,经历了几千年,珠算口诀不断完善,算盘迄今仍在使用。公元 17 世纪,欧洲人发明了对数计算器,后来又发明了机械式的手摇计算机。

人类所使用的计算工具是随着生产的发展和社会的进步,从简单到复杂、从低级到高级的发展过程,计算工具相继出现了如算盘、计算尺、手摇机械计算机、电动机械计算机等。

20 世纪初,英国人 Boole 创立了“布尔代数”,为电子数字计算机的诞生奠定了理论基础。那时用两个电子管等元件构成的双稳态触发器,用于表示二进制数的“0”和“1”,又为电子数字计算机的诞生奠定了物质基础。1946 年美国宾夕法尼亚大学摩尔学院与美国军方阿伯丁弹道实验室成功研制了第一台由电子管组成的计算机 ENIAC(electronic numerical integrator and computer),它使用了 18000 多只电子管,重 30 t,占地约 170 m²,耗电 150 kW,字长 12 位,运算速度为 5000 次/s。尽管如此,它作为人类历史上的第一台电子数字计算机,具有划时代的意义,奠定了现代计算机科学和技术的发展基础。

1.1.2 国外计算机发展简介

自第一台电子数字计算机诞生以来,计算机的体系结构已发生了重大变化。人们根据计算机发展经历不同阶段所采用的电子器件不同,将它划分为五代。

第一代 电子管计算机(1946—1957 年)。主要采用电子管作为基本逻辑元件,存储器采用磁鼓和磁芯。特点是:只能进行定点算术运算,运算速度慢,且体积大、耗电大、价格昂贵、可靠性差、成本高,不易维护,使用也不方便,所编制的程序的复杂程度难以表述。主要

采用机器语言和汇编语言编写源程序,源程序再经汇编程序翻译成机器语言目标程序。这一代计算机主要用于科学计算,只在重要部门或科学研究部门使用。

第二代 晶体管计算机(1958—1964年)。主要采用晶体管作为基本逻辑元件,普遍采用磁芯作为内存储器,采用磁盘和磁鼓作为外存储器。与电子管计算机相比,其特点是:体积减小、重量减轻、功耗降低、成本下降,计算机的可靠性和运算速度均得到提高。晶体管计算机由硬件实现浮点算术运算,运算速度提高到几万次/s至几十万次/s。在软件方面开始有了系统软件(监控程序),提出了操作系统概念,并开始使用计算机算法语言。这一代计算机不仅用于科学计算,还用于数据处理、事务处理和工业控制。

第三代 中小规模集成电路计算机(1965—1973年)。主要采用中、小规模集成电路作为逻辑器件,内存储器为半导体存储器,使存储器的存取速度有了大幅度的提高。它与晶体管计算机相比,其特点是:体积更小,重量更轻,耗电更省,寿命更长,成本更低,运算速度有了更大的提高。系统软件有了很大发展,出现了分时操作系统,使计算机的功能越来越强,多用户可以共享计算机软硬件资源。从这一代计算机开始采用微程序控制的设计技术、流水线结构以及高速缓冲存储器(Cache),运算速度达到几十万次/s至几百万次/s。软件已出现操作系统、虚拟存储器。它不仅用于科学计算,还用于文字处理、企业管理、自动控制等领域,出现了计算机技术与通信技术相结合的信息管理系统,可用于生产管理、交通管理、情报检索等领域。

第四代 大规模、超大规模集成电路计算机(1974—1990年)。主要基本逻辑部件采用大规模,超大规模集成电路。半导体内存容量越来越大,外存储器广泛采用软磁盘,硬磁盘。使计算机体积进一步缩小,可靠性进一步提高。运算速度从几千万次/s至几亿次/s。软件有数据库管理、分布式处理及网络等。

第四代计算机的另一个重要分支是以大规模、超大规模集成电路为基础发展起来的微处理器和微型计算机。微型计算机大致经历了四个阶段:第一阶段是1971—1973年,4位微型计算机的研制阶段;第二阶段是1973—1977年,8位微型计算机的发展和改进阶段;第三阶段是1978—1983年,16位微型计算机的发展阶段;第四阶段便是从1983年开始至今,32位微型计算机的发展阶段,并进入64位计算时代。微型计算机的性能主要取决于它的核心器件——微处理器(CPU)的性能。

第五代 巨大规模集成电路新一代计算机(1990年至今)。新一代计算机从数值计算过渡到以知识推理为主,允许用户使用自然语言。运算速度从几千亿次/s至千万亿次/s。普遍认为新一代计算机应该是智能型的,它能模拟人的智能行为,理解人类自然语言。最终向着自然语言方向发展,且能自动生成程序。

目前人们所说的个人计算机属于微型计算机(或称微型电脑,简称电脑),微型计算机的发展是以微处理器技术为标志的。而微处理器的发展则是以其一次处理二进制数据位数来划分的,其发展已经过4位微处理器、8位微处理器、16位微处理器、32位微处理器和64位微处理器,现在广泛应用的是多核微处理器。

1.1.3 中国计算机发展简介

我国对计算机的研究,虽然起步较晚,但是发展较快,目前已进入世界前列。为了帮助

读者对我国计算机的发展有一个大概的了解,做到知己知彼,现简要介绍如下。

第一阶段(1957—1962年) 1957年,哈尔滨工业大学研制成功中国第一台模拟式电子计算机。1958年,中国第一台计算机——103型通用数字电子计算机由中国科学院计算所与北京有线电厂共同研制成功,运行速度每秒1500次,字长31位,内存容量为1024 B。1959年,中国研制成功104型电子计算机,内存容量为2048 B,字长39位,运算速度为每秒1万次,为我国尖端武器的发展作出了重要贡献。1960年,中国第一台大型通用电子计算机——107型通用电子数字计算机研制成功,其字长32位,内存容量为1024 B,有加减乘除等16条指令,主要用于弹道计算。

第二阶段(1963—1972年) 1963年,中国第一台大型晶体管电子计算机——109机研制成功。这标志着中国电子计算机技术进入第二代。1964年,441B全晶体管计算机研制成功,字长40位。1965年,中国第一台百万次集成电路计算机“DJS-II”型的操作系统编制完成。1967年,新型晶体管大型通用数字计算机诞生。1968年,北京大学承接研制百万次集成电路数字电子计算机——150机。1970年,中国第一台具有多道程序分时操作系统和标准汇编语言的计算机——441B-III型全晶体管计算机研制成功。1972年,每秒运算11万次的大型集成电路通用数字电子计算机研制成功。我国最有代表性的晶体管电子计算机是“DJS-II”型计算机。

第三阶段(1973—1982年) 1973年,中国第一台百万次集成电路电子计算机研制成功,字长48位,存储容量13 KB。1974年,DJS-130、DJS-131、DJS-132、DJS-135、DJS-140、DJS-152、DJS-153等13个机型先后研制成功。1976年,DJS-183、DJS-184、DJS-185、DJS-186、DJS-1804机研制成功。中国台湾台中农学院发明了第一代仓颉输入法。1977年,中国第一台微型计算机DJS-050机研制成功。1979年,中国研制成功每秒运算500万次的集成电路计算机——HDS-9。1981年,中国研制成功的260机平均运算速度达到每秒100万次。《信息处理交换用汉字字符集(基本集)》GB2312国家标准正式发布实施。

第四阶段(1983—1999年) 1983年,国防科技大学研制成功“银河I型”巨型计算机,运算速度达每秒1亿次。1985年,华光I型汉字激光照排系统投入生产性使用。1986年,中华学习机投入生产。1987年,第一台国产的286微机——长城286正式推出。1988年,第一台国产386微机——长城386推出,中国发现首例计算机病毒。1990年,中国首台高智能计算机——EST/IS4260智能工作站诞生,长城486计算机问世。1992年,中国最大的汉字字符集——6万电脑汉字字库正式建立。1993年,中国第一台10亿次巨型银河计算机II型通过鉴定。1995年,曙光1000大型机通过鉴定,其峰值可达每秒25亿次。1997年,银河-III并行巨型计算机研制成功。1999年,银河四代巨型机研制成功。

第五阶段(2000年至今) 2000年,我国自行研制成功高性能计算机“神威I”,其主要技术指标和性能达到国际先进水平。我国计算机科学与技术进入了飞速发展时代。

2000年,国内首颗32位微处理器龙芯一号研制成功,它采用0.18微米制程,工作频率为200 MHz~266 MHz,内建约400万只晶体管,定点字长为32位,浮点字长为64位,内建16 KB一级缓存(8 KB指令/8 KB数据),可执行32位MIPS指令,I/O工作电压为3.3 V,内核电压1.8 V,该芯片现已正式商业化。

2002年,国内首颗64位微处理器“龙芯二号”研制成功,该芯片将采用0.18微米制程,

设计工作频率可达 500 MHz,主要针对嵌入式应用领域。

2002 年 7 月,中国朗科公司“用于数据处理系统的快闪电子式外存储方法及其装置”获得国家知识产权局正式授权。该专利填补了中国计算机存储领域 20 年来发明专利的空白。2004 年 12 月 7 日,朗科公司获得美国国家专利局正式授权的闪存盘基础发明专利。这一专利权的获得,证明中国朗科公司才是 U 盘的全球第一个发明者。

2003 年,由中科院计算所研制的“曙光 3000”是一种通用的超级并行计算机系统,也是当时中国国内性能最高的超级服务器。这台计算机由 10 个机柜组成,耗电 25 千瓦,总重量达 5 t。它有 280 个 CPU(中心处理器),最快运算速度达每秒 4032 亿次;装有近 16.8 万兆内存和 363 万兆硬盘。该服务器功能强大,使用其中 16 个 CPU 的设备可以实现每天 80 亿次的网络页面点击;8 个 CPU 的设备每天可以收发 7000 万封电子邮件;使用 64 个 CPU 的设备预报一个月的气候只用 15 分钟。

2004 年,曙光 4000A 研制成功。它采用了 2560 颗 AMD Opteron 处理器,是每秒可以运算 10 万亿次的巨型计算机,这是中国计算机发展史上一个里程碑。目前这台曙光 4000A 已经落户到上海的超级计算中心,将成为国内最大的主接点,成为辐射全国的计算中心。

2008 年 7 月 8 日,中国首款百万亿次超级计算机曙光 5000A 宣布正式推出。曙光 5000A 高性能计算机采用最新的四核 AMD Barcelona(主频 1.9 GHz)处理器,采用基于刀片架构的 HPP 体系架构,共有 30720 颗计算核心,122.88 TB 内存,700 TB 数据存储能力,采用低延迟的 20 Gb 的网络互联,其设计浮点运算速度峰值为每秒 230 万亿次,Linpack 测试速度预测将达到 160T,效率大于 70%,是当时国内运算速度最快的高性能计算机。曙光 5000A 一天完成的工作量,相当于全中国所有人每天 24 小时、每年 365 天利用手持计算机不停地计算,46 年时间的工作量。

2009 年 10 月 29 日,中国第一台国产千万亿次“天河一号”在国防科技大学研制成功。“天河一号”每秒钟 1206 万亿次的峰值速度和每秒 563.1 万亿次的 Linpack 实测性能,使这台名为“天河一号”的计算机位居同日公布的中国超级计算机前 100 强之首,世界超级计算机第 5 位。“天河一号”计算一天,一台配置 Intel 双核 CPU、主频为 2.5 GHz 的微机需要计算 160 年。

共享存储总容量为 1 PB。以国内数字图书馆应用软件的图片格式 PDG 为例计算,如果平均每册书大小约 10 MB 的话,“天河一号”的存储量相当于 4 个国家图书馆(藏书量为 2700 万册)之和,能够为全国每人储存一张大小接近 1Mb 的照片。

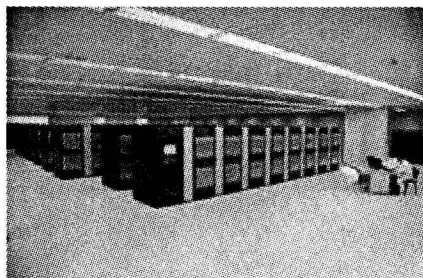


图 1.1 “天河一号”千万亿次超级计算机

“天河一号”由 103 台机柜组成,每个机柜占地 1.44m²、高 2 m、重 1.5 t,系统总重量相当于 19 个神舟飞船。把通风等条件考虑在内,放置“天河一号”需要一个近千平方米的房间,如图 1.1 所示。

全系统包含 6144 个通用处理器(CPU)和 5120 个加速处理器(GPU),仅系统级软件就有 20 多万行代码。按照每人每小时写 20 行代码的速度,需要写 1 万小时。

互联通信网络的单根线传输速率为 10 Gbps,

这是目前国际上最快的速率,相当于在“天河一号”计算机内部修了一条信息高速公路。“天河一号”将会在多个领域获得应用。

2009年12月,长沙理工大学研究出了世界上第一个既可直接进行任意进制算术运算和逻辑运算,又可直接对任意模拟信号进行算术运算和逻辑运算的嵌入式自适应模糊处理器和嵌入式双核互补模糊处理器。这两项研究成果从根本上突破了冯·诺依曼机的理论范畴,是嵌入式处理器领域中的一个重大理论突破,开创了一个全新的研究领域,必将会形成一个新的研究分支。这两种嵌入式自适应模糊处理器及核心技术,已申报了多项发明专利。它们特别适合应用于模式识别、模糊控制、人工智能和仿真等领域,且可以省掉一些应用系统中的A/D和D/A及部分电路,将具有很好的发展前景和广泛的应用前景。

我国是一个计算机大国,除了继续大力发展微型机和高性能巨型机外,还应有更多新理论、新技术、新方法出现。

1.1.4 计算机的发展趋势

计算机自诞生以来,大约5~8年,其运算速度可提高10倍,可靠性可提高10倍,体积可缩小至原来的1/10,成本可降低为原来的1/10。自20世纪70年代以来,计算机更是以惊人的速度发展,计算机的产量以每年25%的速度递增。随着科学技术的发展和计算机应用的需要,未来计算机将朝着巨型化、微型化、多媒体化、网络化、智能化方向发展。

1) 巨型化

巨型计算机的最大特点是运算速度快、存储容量大、功能强。例如,国内研制成功的“天河一号”计算机和曙光计算机都属于巨型机计算机。将来巨型机计算机发展的趋势是运算速度更快、存储容量更大、功能更强。

2) 微型化

微型计算机(包括单片机)的最大特点是成本低、价格便宜、对其工作环境无特殊要求、体积小、携带方便、应用范围广泛,受到用户普遍欢迎,已成了人们工作和生活中的一种常用的现代化工具。随着微电子技术的不断提高,将来微型计算机的体积会变得越来越小,越来越便于操作使用。

3) 多媒体化

多媒体技术是计算机技术和视频、音频及通信技术相结合的产物。它不但可使我们的社会变得格外绚丽多彩,生活显得格外富有幻想,而且会对政治、经济、军事和工业等都产生巨大的影响。它的深远意义还会影响未来计算机、人工智能技术的发展。因此,有关多媒体技术的研究和应用是计算机的热点之一。

4) 网络化

人类已进入信息化社会,计算机网络功不可没。由于全球网络化消除了人们之间因时间、距离和地理界限所形成的障碍,从而使各国人民在信息交流、技术交流、文化传递和感情沟通等方面变得十分迅速、十分便捷,实现了人们对资源共享的需要,使世界变得越来越小了。计算机网络在改变着整个世界的同时,其自身也必将会获得更快的发展。