

21 世纪计算机专业大专系列教材

李大友 主编

计算机组织与结构

蒋本珊 编著



清华大学出版社

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



21 世纪计算机专业大专系列教材

计算机组织与结构

李大友 主编
蒋本珊 编著

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

本书是参考美国 IEEE《计算机学科教学计划 2001》及中国计算机学会《计算机学科教学计划 2000》，并结合我国的具体国情编写的。

全书共分 10 章：第 1、2 章介绍了计算机基础知识；第 3 章介绍了计算机中的逻辑部件；第 4 章至第 9 章介绍了计算机的各子系统（指令系统、运算器、中央处理部件、内存储器与存储体系、外部设备、输入输出系统）的基本组成原理；第 10 章介绍了计算机系统结构及其发展。全书内容全面、概念清楚、通俗易懂，并具实用性和先进性。

本书可作为计算机专业大专或高职类的教材，也可作为相关专业的教学参考书。

版权所有，翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签，无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

计算机组织与结构/蒋本珊编著. —北京：清华大学出版社，2002

21 世纪计算机专业大专系列教材

ISBN 7-302-05080-5

I. 计… II. 蒋… 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(2001)第 094230 号

出版者：清华大学出版社(北京清华大学学研大厦，邮编 100084)

[http:// www. tup. tsinghua. edu. cn](http://www.tup.tsinghua.edu.cn)

印刷者：北京鑫丰华彩印有限公司

发行者：新华书店总店北京发行所

开 本：787×1092 1/16 **印张：**23.5 **字数：**539 千字

版 次：2002 年 3 月第 1 版 2002 年 3 月第 1 次印刷

书 号：ISBN 7-302-05080-5/TP·2970

印 数：0001~5000

定 价：28.00 元

《21 世纪计算机专业大专系列教材》

编辑委员会名单

主 编 李大友

编 委 (排名不分先后)

刘乐善 (华中理工大学)

刘惠珍 (北京工业大学)

陈 明 (石油大学)

邵学才 (北京工业大学)

蒋本珊 (北京理工大学)

匙彦斌 (天津大学)

葛本修 (北京航空航天大学)

彭 波 (中国农业大学)

策划编辑 范素珍

序

这套教材为 21 世纪高等学校计算机学科大专系列教材。

我们从 1995 年开始组织《计算机专业大专系列教材》。当时根据中国计算机学会教育委员会与全国高等学校计算机教育研究会联合推荐的《计算机学科教学计划 1993》的要求,组织了《计算机原理》等 13 本教材,并由清华大学出版社出版。这套教材出版后,受到了高等学校师生的广泛欢迎和好评。

在组织上述教材的时候,主要是按《计算机学科教学计划 1993》的要求进行的。而 1993 教学计划主要是参照美国 IEEE 和 ACM《计算机学科教学计划 1991》并结合我国高等教育当时的实际情况制定的。反映的是 20 世纪 80 年代末计算机学科的发展状况。

计算机学科是一个飞速发展的新兴学科,发展速度之快可谓一日千里。近 10 年来,计算机学科已发展成为一个独立学科,计算机本身向高度集成化、网络化和多媒体化迅速发展。

但从另一个方面来看,目前高等学校的计算机教育,总是滞后于计算机学科的发展,特别是教材建设,由于受时间和软硬条件的限制,更是落后于现实需要,大专层次的教材建设就更是如此。为了改变这种状况,高等学校的教育工作者和专家教授们应当仁不让地投入必要的时间和精力来完成这一历史使命。为适应 21 世纪计算机教育形势的需要,在课程设置和教材建设上,必须及时调整。

为组织好这套教材,我们认真地研究了全国高等学校计算机专业教学指导委员会和中国计算机学会教育委员会联合推荐的《计算机学科教学计划 2000》和美国 IEEE 和 ACM 两个学会最新公布的《计算机学科教学计划 2001》。这两个教学计划所提供的指导思想和学科所涵盖的内容,不仅适合于大学本科,也适合大学专科的需求。关键在于要对其内容的取舍进行认真的研究。

上述两个教学计划都是在总结了从《计算机学科教学计划 1991》到现在,计算机学科十年来发展的主要成果的基础上诞生的。

在我国的《计算机学科教学计划 1993》和美国 IEEE 和 ACM 两个学会提出的《计算机学科教学计划 1991》中,根据当时的情况,只提出了 9 个主科目。而在《计算机学科教学计划 2001》中,根据学科的最新发展状况,提出了 14 个主科目,其中 13 个主科目又为核心主科目。这 14 个主科目是:算法与分析(AL)、体系结构(AR)、离散结构(DS)、计算机科学(CN)、图形学与可视化计算(GV)、网络计算(NC)、人机交互(HC)、信息管理(IM)、智能系统(IS)、操作系统(OS)、程序设计基础(PF)、程序设计语言(PL)、软件工程(SE)、社会、道德、法律和专业问题(SP)。其中除 CN 和 GR 为非核心主科目外,其他 13 个主科目均为核心主科目。

1997/04

将美国 IEEE 和 ACM 的教学计划 2001 与 1991 计划进行比较可看出:在 1991 计划中,离散结构只是作为数学基础提出,未被列为主科目;而在 2001 计划中,不但列为主科目,而且为核心主科目。可见,已将离散结构提升为本学科的基础。显然,离散结构在学科中的地位已提升,从而说明了离散结构在本科中的重要性。

在 1991 计划中,未提及网络计算,而在 2001 计划中,不但提出,而且被列为核心主科目,以适应网络技术飞速发展的需求。

图形学、可视化与多媒体也是为适应发展需求新增的内容。

除此之外,2001 计划在下述 5 个方面作了增加或调整:

- 将程序设计语言引论调整为程序设计基础和程序设计语言两个核心主科目。显然,加强了对程序设计的要求。

- 将人一机通信调整为人机交互,反映了人一机通信的实质是人机交互,在图形界面迅速发展的今天,人机交互理论和方法的研究和应用变得十分重要。

- 将人工智能与机器人学调整为智能系统,拓宽了对智能系统的要求。

- 将数据库与信息检索调整为信息管理,因为后者不仅概括了前者,而且反映了数据库与信息检索的实质是信息管理。

- 将数值与符号计算调整为计算科学,更具有概括性。

总之,上述变化不仅更好地反映了计算机学科的发展现状,而且使 2001 教学计划具有更强的科学性和实用性。

由于我们这套系列教材,主要面向的对象是计算机专业三年制大专(高职)学生,其培养目标也属于高级技术人才的层次。他们既要有一定的理论基础(较本科弱),又要更强调实用性,要有明确的应用方向。我们将应用方向定位在信息管理和计算机网络两个方面。这两个应用方向占计算机应用总计的百分之九十以上。

在系列教材的内容取舍上,2001 教学计划的 14 门主科目中,我们概括了除智能系统、计算科学和社会、道德、法律和专业问题之外的其他 11 个主科目。在每个主科目中,我们以其中的基本概念、基本理论和基本方法作为主线组织教材,使学生既能掌握基础理论和方法,又能为他们进一步深造打下必要的基础;在信息管理和计算机网络技术两个应用方向上,他们的应用能力将得到加强。

根据上述指导思想,初步确定组织 20 本左右的教材供各高校选用。这些教材包括:《离散数学》、《计算机应用基础》、《计算机组织与结构》、《微机系统与接口技术》、《计算机网络与通信》、《网络管理技术基础》、《计算机网络系统集成技术》、《算法与数据结构》、《操作系统原理》、《实用软件工程》、《数据库原理与应用》、《管理信息系统原理与应用》、《办公自动化实用技术》、《多媒体技术及其应用》、《Internet 技术及其应用》、《计算机维护技术》、《C 语言程序设计》、《Java 语言程序设计》、《C++ 语言程序设计》、《VB 语言程序设计》、《计算机英语》等。

系列教材并不是教学计划,由于各高校情况不同,培养方向的侧重面也不一样,因此教学计划也不会雷同。教材应按系列组织,反映计算机学科大专层次的总体要求,采用大

拼盘结构,各校可根据自身情况选择使用。例如,语言类教材,我们就准备了一本,各校可选择其中的一本或两本,其他依此类推。

这套教材均由高等学校具有丰富教学实践经验的老师编写。所编教材体系结构严谨、层次清晰、概念准确、理论联系实际、深入浅出、通俗易懂。

全国高等学校计算机教育研究会副理事长
课程与教材建设委员会主任

李大友

2001.2

前 言

“计算机组织与结构”是计算机专科层次各类专业学生的必修核心课程之一,主要讨论计算机各大部件的基本组成原理,各大部件互连构成整机系统的技术以及计算机系统的概念性结构和功能特性。

本书是参考美国 IEEE《计算机学科教学计划 2001》及中国计算机学会《计算机学科教学计划 2000》,并结合我国的具体国情编写的。

全书共分 10 章:第 1、2 章介绍了计算机的基础知识(概论、数据表示与信息编码);第 3 章介绍了计算机中的逻辑部件;第 4~9 章介绍了计算机的各子系统(指令系统、运算器、中央处理部件、内存储器与存储体系、外部设备、输入输出系统)的基本组成原理,第 10 章介绍了计算机的系统结构及其发展。

本书的内容与教学时数允许的分量相比偏多一些,有些内容对某些专业来说可能已在先导课程中讨论过,因此,在使用本教材时,可根据各专业的具体情况在章节上有选择地进行取舍。

计算机组织与结构一类的教材在国内已有不少,本书试图在下列几个方面具有一定的特色:

首先,本书既强调计算机的基本概念和基础知识,对计算机的各大基本部件的组成原理、设计方法及相互关系都进行了较详细的描述,又注意与实际应用相结合,具有一定的针对性,以避免理论和实际脱节。

其次,计算机技术的发展日新月异,本书在阐述中注意由浅入深、循序渐进,在讲清基本原理的基础上,再提出先进技术和新的发展方向,以减少学习的难度。

第三,本书根据各章节内容的要求按横向方式组织课程实例,而不拘泥于某一种具体的机型,以减少局限性,扩大读者的视野和适用面。考虑到目前国内的实际情况,实例以微、小型机为主。

第四,为了帮助读者建立整机概念,本书中介绍了一个仅有十几条指令的简单 CPU 模型,试图通过解剖这样一个小小的“麻雀”来介绍控制单元的设计方法。

第五,面对将来计算机技术的发展趋势,在描述计算机系统结构的章节中,加入了突破传统冯·诺依曼型结构的新型计算机系统的内容,力求反映现代计算机系统结构的发展水平。

第六,各章内容相对独立,同时注意章节间内容的衔接,适合于自学。

总之,本书力求做到内容全面、概念清楚、通俗易懂,并注意到实用性和先进性。

本书每章后附有大量的习题,为读者提供较多的练习机会。

本书可作为计算机专业大专或高职类的教材,也可作为相关专业的教学参考书。

本书在编写过程中得到了清华大学出版社《21 世纪计算机专业大专系列教材》编委会同事们的很多帮助和支持。本系列教材的主编李大友教授主审了本书,提出了许多宝

贵的意见,在此表示诚挚的感谢!本书的全部图稿是由何芬、刘晓玲同志协助绘制的,在此也一并表示感谢!

由于本人水平有限,加上时间仓促,书上难免出现错误和不妥之处,欢迎同行和广大读者批评指正。

编 者

2001年9月

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 电子计算机与存储程序控制	1
1.1.1 电子计算机的发展概述	1
1.1.2 存储程序概念	2
1.1.3 计算机的硬件组成	3
1.2 计算机系统	6
1.2.1 计算机软件的基本内容	6
1.2.2 硬件与软件的关系	7
1.2.3 计算机系统的多层次结构	8
1.2.4 不同对象观察到的计算机硬件系统	9
1.3 计算机的工作过程与性能	11
1.3.1 计算机的工作过程	11
1.3.2 计算机的主要性能指标	11
1.3.3 计算机系统的性能评价	13
1.4 计算机系统结构	13
1.4.1 系统结构概念	13
1.4.2 计算机组成和系统结构	14
1.4.3 计算机按系统结构分类	15
第 2 章 数据表示与信息编码	18
2.1 数制与编码	18
2.1.1 进位计数制的基本概念	18
2.1.2 计算机中常用的进位计数制	19
2.1.3 各种数制间的相互转换	21
2.1.4 十进制数的编码(二—十进制编码)	23
2.2 数值数据的表示	24
2.2.1 无符号数和带符号数	24
2.2.2 原码表示法	25
2.2.3 补码表示法	26
2.2.4 反码表示法	27
2.2.5 三种码制的比较与转换	27
2.3 数的定点表示与浮点表示	29
2.3.1 定点表示法	29

2.3.2	浮点表示法	30
2.3.3	浮点数阶码的移码表示法	32
2.3.4	实用浮点数举例	33
2.4	非数值数据的表示	34
2.4.1	ASCII 字符编码方法	34
2.4.2	统一代码(Unicode)	35
2.4.3	汉字的编码方法	36
2.5	现代微机系统中的数据表示举例	38
2.6	奇偶校验码	40
2.6.1	奇偶校验概念	40
2.6.2	简单奇偶校验	40
2.6.3	交叉奇偶校验	41
第3章	计算机中的逻辑部件	45
3.1	逻辑代数基础	45
3.1.1	逻辑变量及基本逻辑运算	45
3.1.2	逻辑代数的运算公式和规则	49
3.1.3	逻辑函数的标准形式	50
3.2	逻辑函数的化简	52
3.2.1	逻辑函数的代数法化简	52
3.2.2	逻辑函数的图解法化简	53
3.3	组合逻辑电路	56
3.3.1	编码器	56
3.3.2	译码器	57
3.3.3	数据选择器与数据分配器	60
3.3.4	加法器	62
3.3.5	进位的产生和传递	63
3.4	总线电路	64
3.4.1	三态门	64
3.4.2	单向和双向总线电路	64
3.5	时序逻辑电路	65
3.5.1	触发器	65
3.5.2	寄存器	68
3.5.3	锁存器	68
3.5.4	移位寄存器	69
3.5.5	计数器	70
3.6	可编程逻辑器件 PLD	71
3.6.1	用户定制电路	71

3.6.2	可编程器件	71
3.6.3	可编程只读存储器(PROM)	72
3.6.4	可编程逻辑阵列(PLA)	74
3.6.5	可编程阵列逻辑(PAL)和通用阵列逻辑(GAL)	75
第4章	指令系统	78
4.1	指令格式	78
4.1.1	机器指令的基本格式	78
4.1.2	地址码结构	78
4.1.3	指令的操作码	81
4.2	寻址技术	83
4.2.1	编址方式	83
4.2.2	基本寻址方式	84
4.3	堆栈与堆栈操作	90
4.3.1	堆栈结构	90
4.3.2	堆栈操作	91
4.4	指令类型	92
4.4.1	数据传送类指令	92
4.4.2	运算类指令	93
4.4.3	程序控制类指令	95
4.4.4	输入输出类指令	96
4.4.5	80X86 指令系统举例	96
4.5	汇编语言程序设计	101
4.5.1	汇编语言程序	101
4.5.2	分支/循环程序设计	101
4.6	指令系统的优化和发展	103
4.6.1	指令格式的优化	103
4.6.2	从复杂指令系统到精简指令系统	105
第5章	运算器	109
5.1	定点加减运算	109
5.1.1	补码加减运算	109
5.1.2	补码的溢出判断与检测方法	110
5.1.3	补码定点加减运算的实现	112
5.2	定点乘除运算	113
5.2.1	补码的移位运算	113
5.2.2	定点乘法运算	114
5.2.3	定点除法运算	117

5.2.4	阵列乘法器和阵列除法器	119
5.3	规格化浮点运算	122
5.3.1	浮点加减运算	122
5.3.2	浮点乘除运算	124
5.4	运算器的基本组成与实例	125
5.4.1	运算器结构	125
5.4.2	并行加法器的快速进位	127
5.4.3	ALU 举例	130
5.4.4	浮点运算器举例	132
第 6 章	中央处理部件	136
6.1	控制器的基本概念	136
6.1.1	控制器的组成	136
6.1.2	控制器的硬件实现方法	138
6.2	时序系统与控制方式	139
6.2.1	时序系统	139
6.2.2	控制方式	142
6.3	CPU 的总体结构	143
6.3.1	CPU 的主要技术参数	143
6.3.2	CPU 专用寄存器的设置	144
6.3.3	指令执行的基本过程	146
6.3.4	指令的微操作序列	147
6.4	微程序控制原理	149
6.4.1	微程序控制的基本概念	149
6.4.2	微指令编码法	150
6.4.3	微程序控制器的组成和工作过程	153
6.4.4	微程序入口地址的形成	154
6.4.5	后继微地址的形成	155
6.4.6	微程序设计	156
6.5	控制单元的设计	159
6.5.1	简单的 CPU 模型	159
6.5.2	组合逻辑控制单元设计	161
6.5.3	微程序控制单元设计	165
6.6	典型 CPU 介绍	168
6.6.1	8086 微处理器	168
6.6.2	80386 微处理器	170
6.6.3	Pentium 系列微处理器	174

第 7 章 内存储器与存储系统	180
7.1 存储器的基本概念	180
7.1.1 存储器分类	180
7.1.2 存储系统层次结构	182
7.2 半导体随机存储器和只读存储器	183
7.2.1 半导体随机存储器(RAM)	183
7.2.2 半导体只读存储器(ROM)	185
7.2.3 动态 RAM 的刷新	187
7.2.4 半导体存储器的封装	189
7.3 内存储器的组成与控制	190
7.3.1 内存储器的主要技术指标	190
7.3.2 内存储器的存储单元和内存储器的基本结构	191
7.3.3 内存容量的扩展	193
7.3.4 内存储器和 CPU 的连接	196
7.3.5 内存的校验	198
7.3.6 数据通路匹配和存储器接口	199
7.4 提高内存读写速度的技术	203
7.4.1 FPM DRAM(fast page mode DRAM)	203
7.4.2 EDO DRAM(extended data output DRAM)	203
7.4.3 SDRAM(synchronous DRAM,同步 DRAM)	204
7.4.4 DDR SDRAM(double data rate SDRAM)	204
7.4.5 Rambus DRAM	205
7.5 双端口存储器和并行存储器	206
7.5.1 双端口存储器	206
7.5.2 并行内存	206
7.6 高速缓冲存储器	209
7.6.1 高速缓存工作原理	209
7.6.2 cache 的读写操作	210
7.6.3 地址映像	210
7.6.4 替换算法	213
7.6.5 PC 机中 cache 技术的实现	213
7.7 虚拟存储器	214
7.7.1 虚拟存储器的基本概念	214
7.7.2 页式虚拟存储器	215
7.7.3 段式虚拟存储器	216
7.7.4 段页式虚拟存储器	217

第 8 章 外部设备	221
8.1 外部设备概述	221
8.1.1 外部设备的分类.....	221
8.1.2 外部设备的地位和作用.....	222
8.2 磁记录原理	223
8.2.1 磁表面存储器的读写.....	223
8.2.2 磁表面存储器的技术指标.....	224
8.2.3 数字磁记录方式.....	225
8.3 磁盘存储器	228
8.3.1 硬盘存储器的基本结构与分类.....	228
8.3.2 硬盘驱动器.....	228
8.3.3 硬盘的信息分布和磁盘地址.....	229
8.3.4 硬盘存储器参数指标.....	231
8.3.5 硬盘控制逻辑.....	232
8.3.6 硬盘的分区域记录.....	233
8.3.7 软磁盘存储器.....	234
8.4 磁盘阵列(RAID)	235
8.4.1 RAID 简介	235
8.4.2 RAID 的分级	236
8.5 光盘存储器	237
8.5.1 光盘存储器的类型.....	237
8.5.2 光盘存储器的组成及工作原理.....	238
8.5.3 光盘驱动器.....	240
8.6 键盘输入设备	241
8.6.1 键开关与键盘类型.....	241
8.6.2 键盘扫描.....	242
8.6.3 微型机键盘.....	243
8.7 其他输入设备	245
8.7.1 鼠标器.....	245
8.7.2 扫描仪.....	247
8.8 打印输出设备	249
8.8.1 打印机概述.....	249
8.8.2 打印机的主要性能指标.....	250
8.8.3 针式打印机工作原理.....	251
8.8.4 喷墨打印机工作原理.....	253
8.8.5 激光打印机工作原理.....	254
8.9 显示设备	255
8.9.1 显示器概述.....	255

8.9.2	CRT 显示器	256
8.9.3	字符显示器的工作原理	259
8.9.4	图形显示器的工作原理	262
8.9.5	视频显示标准	263
第 9 章	输入输出系统	268
9.1	主机与外设的连接	268
9.1.1	输入输出接口	268
9.1.2	接口的功能和基本组成	269
9.1.3	外设的识别与端口寻址	271
9.1.4	输入输出信息传送控制方式	273
9.2	程序查询方式及其接口	274
9.2.1	程序查询方式	274
9.2.2	程序查询方式接口	275
9.3	中断系统	277
9.3.1	中断的基本概念	277
9.3.2	中断请求和中断判优	280
9.3.3	中断响应和中断处理	282
9.3.4	多重中断与中断屏蔽	285
9.3.5	中断全过程	289
9.3.6	程序中断接口结构	290
9.3.7	中断控制器 8259	291
9.4	DMA 方式及其接口	296
9.4.1	DMA 方式的基本概念	296
9.4.2	DMA 接口	298
9.4.3	DMA 传送方法与传送过程	300
9.4.4	DMA 控制器 8237 的基本结构	302
9.4.5	8237 的工作方式	304
9.5	通道控制方式	305
9.5.1	通道的基本概念	305
9.5.2	通道的类型与结构	306
9.5.3	通道程序	309
9.6	总线技术	312
9.6.1	总线通信控制	312
9.6.2	总线管理	313
9.6.3	总线类型和总线标准	315

第 10 章 计算机系统结构	322
10.1 计算机系统结构的并行性.....	322
10.1.1 并行性概念.....	322
10.1.2 并行性的发展.....	323
10.2 流水线处理技术.....	323
10.2.1 重叠控制与先行控制.....	323
10.2.2 流水工作原理.....	325
10.2.3 超标量、超级流水线和超长指令字计算机	330
10.2.4 向量处理机与向量的流水处理.....	332
10.3 并行处理机.....	334
10.3.1 并行处理机的组成.....	334
10.3.2 并行处理机的互连网络.....	335
10.3.3 阵列处理机.....	336
10.4 多处理机系统.....	337
10.4.1 多处理机的概念.....	337
10.4.2 多处理机的结构与特点.....	338
10.4.3 多处理机的互连网络.....	340
10.5 精简指令系统计算机 RISC	342
10.5.1 RISC 的特点和优势	342
10.5.2 RISC 技术中所采用的特殊方法	343
10.6 新型计算机系统结构.....	346
10.6.1 计算机系统结构的新发展.....	346
10.6.2 数据流计算机.....	348
10.6.3 面向函数程序设计语言的归约机.....	351
10.6.4 人工智能计算机.....	353