



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



21世纪大学本科
计算机专业系列教材

蒋本珊 编著

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

计算机组成原理(第2版)

- 根据教育部“高等学校计算机科学与技术专业规范”组织编写
- 与美国 ACM 和 IEEE *Computing Curricula 2005* 同步



清华大学出版社



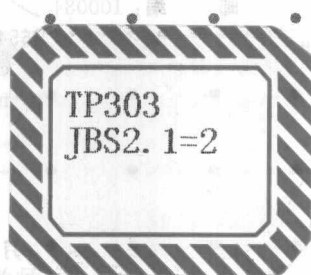
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

21世纪大学本科计算机专业系列教材

计算机组成原理

(第2版)

蒋本珊 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书系统地介绍了计算机的基本组成原理和内部工作机制。全书共分 8 章,主要内容分成两个部分:第 1、2 章介绍了计算机的基础知识;第 3~8 章介绍了计算机的各子系统(包括运算器、存储器、控制器、外部设备和输入输出子系统等)的基本组成原理、设计方法、相互关系以及各子系统互相连接构成整机系统的技术。

本书讲述了计算机的一般原理,并注意与实际应用相结合。全书内容由浅入深,每章之后均附有习题,便于自学。

本书可以作为高等院校计算机及相关专业“计算机组成原理”课程的教材,也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

计算机组成原理/蒋本珊编著. —2 版. —北京:清华大学出版社,2008.9

(21 世纪大学本科计算机专业系列教材)

ISBN 978-7-302-18149-1

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(2008)第 104077 号

责任编辑:张瑞庆 张为民

责任校对:李建庄

责任印制:何 芊

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:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

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

印 刷 者:清华大学印刷厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×230

印 张:24

字 数:492 千字

版 次:2008 年 9 月第 2 版

印 次:2008 年 9 月第 1 次印刷

印 数:41001~46000

定 价:33.00 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:027947-01

读者意见反馈

亲爱的读者:

感谢您一直以来对清华版计算机教材的支持和爱护。为了今后为您提供更优秀的教材,请您抽出宝贵的时间来填写下面的意见反馈表,以便我们更好地对本教材做进一步改进。同时如果您在使用本教材的过程中遇到了什么问题,或者有什么好的建议,也请您来信告诉我们。

地址:北京市海淀区双清路学研大厦 A 座 602 室 计算机与信息分社营销室 收

邮编: 100084

电子邮件: jsjc@tup.tsinghua.edu.cn

电话: 010-62770175-4608/4409

邮购电话: 010-62786544

教材名称: 计算机组成原理(第2版)

ISBN: 978-7-302-18149-1

个人资料

姓名: _____ 年龄: _____ 所在院校/专业: _____

文化程度: _____ 通信地址: _____

联系电话: _____ 电子信箱: _____

您使用本书是作为: ☐指定教材 ☐选用教材 ☐辅导教材 ☐自学教材

您对本书封面设计的满意度:

☐很满意 ☐满意 ☐一般 ☐不满意 改进建议 _____

您对本书印刷质量的满意度:

☐很满意 ☐满意 ☐一般 ☐不满意 改进建议 _____

您对本书的总体满意度:

从语言质量角度看 ☐很满意 ☐满意 ☐一般 ☐不满意

从科技含量角度看 ☐很满意 ☐满意 ☐一般 ☐不满意

本书最令您满意的是:

☐指导明确 ☐内容充实 ☐讲解详尽 ☐实例丰富

您认为本书在哪些地方应进行修改?(可附页)

您希望本书在哪些方面进行改进?(可附页)

电子教案及教师用书等配套资源支持

敬爱的教师:

为了配合本课程的教学需要,本教材有配套的电子教案(素材),有需求的教师可以与我们的联系,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)及教师用书,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 jsjc@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。



普通高等教育“十一五”国家级规划教材 21世纪大学本科计算机专业系列教材

近期出版书目

- 计算机导论(第2版)
- 程序设计导引及在线实践
- 程序设计基础
- 程序设计基础习题解析与实验指导
- 离散数学(第2版)
- 离散数学习题解答与学习指导(第2版)
- 数据结构与算法
- 形式语言与自动机理论(第2版)
- 形式语言与自动机理论教学参考书(第2版)
- 计算机组成原理(第2版)
- 计算机组成原理教师用书(第2版)
- 计算机组成原理学习指导与习题解析(第2版)
- 计算机组成与体系结构
- 微型计算机系统与接口
- 计算机操作系统
- 计算机操作系统学习指导与习题解答
- 数据库系统原理
- 编译原理
- 软件工程
- 计算机图形学
- 计算机网络(第2版)
- 计算机网络教师用书(第2版)
- 计算机网络实验指导书(第2版)
- 计算机网络习题集与习题解析(第2版)
- 计算机网络软件编程指导书
- 人工智能
- 多媒体技术原理及应用(第2版)
- 算法设计与分析(第2版)
- 算法设计与分析习题解答(第2版)
- C++ 程序设计
- 面向对象程序设计
- 计算机网络工程
- 计算机网络工程实验教程
- 信息安全原理及应用

21 世纪大学本科计算机专业系列教材编委会

名誉主任：陈火旺

主任：李晓明

副主任：钱德沛 焦金生

委员：（按姓氏笔画为序）

马殿富	王志英	王晓东	宁 洪	刘 辰
孙茂松	李大友	李仲麟	吴朝晖	何炎祥
宋方敏	张大方	张长海	周兴社	侯文永
袁开榜	钱乐秋	黄国兴	蒋宗礼	曾 明
廖明宏	樊孝忠			

秘书：张瑞庆

本书责任编辑委：袁开榜

PREFACE

21 世纪是知识经济的时代,是人才竞争的时代。随着 21 世纪的到来,人类已步入信息社会,信息产业正成为全球经济的主导产业。计算机科学与技术信息产业中占据了最重要的地位,这就对培养 21 世纪高素质创新型计算机专业人才提出了迫切的要求。

为了培养高素质创新型人才,必须建立高水平的教学计划和课程体系。在 20 多年跟踪分析 ACM 和 IEEE 计算机课程体系的基础上,紧跟计算机科学与技术的发展潮流,及时制定并修正教学计划和课程体系是尤其重要的。计算机科学与技术的发展对高水平人才的要求,需要我们从总体上优化课程结构,精炼教学内容,拓宽专业基础,加强教学实践,特别注重综合素质的培养,形成“基础课程精深,专业课程宽新”的格局。

为了适应计算机科学与技术学科发展和计算机教学计划的需要,要采取多种措施鼓励长期从事计算机教学和科技前沿研究的专家教授积极参与计算机专业教材的编著和更新,在教材中及时反映学科前沿的研究成果与发展趋势,以高水平的科研促进教材建设。同时适当引进国外先进的原版教材。

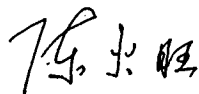
为了提高教学质量,需要不断改革教学方法与手段,倡导因材施教,强调知识的总结、梳理、推演和挖掘,通过加快教案的不断更新,使学生掌握教材中未及时反映的学科发展新动向,进一步拓广视野。教学与科研相结合是培养学生实践能力的有效途径。高水平的科研可以为教学提供最先进的高新技术平台和创造性的工作环境,使学生得以接触最先进的计算机理论、技术和环境。高水平的科研还可以为高水平人才的素质教育提供良好的物质基础。学生在课题研究中不但能了解科学研究的艰辛和科研工作者的奉献精神,而且能熏陶和培养良好的科研作风,锻炼和培养攻关能力和协作精神。

进入 21 世纪,我国高等教育进入了前所未有的大发展时期,时代的进步与发展对高等教育质量提出了更高、更新的要求。2001 年 8 月,教育部颁发了《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》。文件指出,本科教育是高等教育的主体和基础,抓好本科教学是提高整个高等教育质量的重点和关键。随着高等教育的普及和高等学校的扩招,在校大学本科计算机专业学生的人数将大量上升,对适合 21 世纪大学本科计算

机科学与技术学科课程体系要求的,并且适合中国学生学习的计算机专业教材的需求量也将急剧增加。为此,中国计算机学会和清华大学出版社共同规划了面向全国高等院校计算机专业本科生的“21 世纪大学本科计算机专业系列教材”。本系列教材借鉴美国 ACM 和 IEEE 最新制定的 *Computing Curricula 2005* (简称 CC2005) 课程体系,反映当代计算机科学与技术学科水平和计算机科学技术的新发展、新技术,并且结合中国计算机教育改革成果和中国国情。

中国计算机学会教育专业委员会和全国高等学校计算机教育研究会,在清华大学出版社的大力支持下,跟踪分析 CC2001,并结合中国计算机科学与技术学科的发展现状和计算机教育的改革成果,研究出了《中国计算机科学与技术学科教程 2002》(*China Computing Curricula 2002*, 简称 CCC2002),该项研究成果对中国高等学校计算机科学与技术学科教育的改革和发展具有重要的参考价值和积极的推动作用。

“21 世纪大学本科计算机专业系列教材”正是借鉴美国 ACM 和 IEEE CC2005 课程体系,依据 CCC2002 基本要求组织编写的计算机专业教材。相信通过这套教材的编写和出版,能够在内容和形式上显著地提高我国计算机专业教材的整体水平,继而提高我国大学本科计算机专业的教学质量,培养出符合时代发展要求的具有较强国际竞争力的高素质创新型计算机人才。



中国工程院院士
国防科学技术大学教授

21 世纪大学本科计算机专业系列教材编委会名誉主任

前言 (第2版)

FOREWORD

承蒙读者的厚爱,本书第1版出版仅三年,已连续印刷10次,总印数达到41 000册。本书2004年被评为北京市精品教材,2007年入选教育部普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本书作为主教材,与2005年以来相继出版的《计算机组成原理学习指导与习题解析》和《计算机组成原理教师用书》一起形成了一个比较完整的教材教学体系,可以适应大多数高校的计算机及相关专业“计算机组成原理”课程教学的需要,受到了许多老师的欢迎。

随着计算机技术发展的日新月异,对第1版教材中部分内容的更新也被提上了议事日程。此次修订,保留了原书的框架和风格,全书章节基本保持不变,但与原书相比,进行了必要的调整、删减,补充了一些新的内容,增加了不少新的概念和新的技术。

第1章增加哈佛结构的内容,第3章增加指令系统的发展的内容,第5章增加DDR2 SDRAM和DDR3 SDRAM等内容,第6章增加微处理器中的新技术的内容,第7章增加SATA硬盘、NCQ技术和显卡等内容,第8章增加PCI-Express总线的内容。

除去这些大的变化,其余章节的内容也有一些修改和补充。

修订后的本书力求概念清楚、通俗易懂,并注意处理好基本原理、基本概念与实用性、先进性之间的关系。

本书第1版自面市以来,收到了许多同行和读者发来的电子邮件,对于读者的来信,本人均给予了一一回复和解答。希望修订之后的本书能对读者有所帮助,欢迎来信提出意见和建议。电子邮箱:bs.jiang@163.com。

作 者

2008年6月

前言 (第 1 版)

FOREWORD

“计算机组成原理”是计算机类各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。本课程在计算机学科中处于承上启下的地位,先修课程应包括计算机基础、数字电路等。本课程的参考教学时数为 56~72 学时。

全书共分 8 章:第 1、2 章介绍了计算机的基础知识(概论、数据的机器层次表示),第 3~8 章介绍了计算机的各子系统(指令系统、数值的机器运算、存储系统和结构、中央处理器、外部设备、输入输出系统)的基本组成原理。

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。

计算机组成原理类的教材在国内已有不少,本书在下列几个方面具有一定的特色。

首先,本书是中国计算机学会和清华大学出版社共同规划的面向全国高等院校计算机专业本科生的“21 世纪大学本科计算机专业系列教材”之一,内容覆盖了《中国计算机科学与技术学科教程 2002(CCC2002)》对本课程所列出的知识单元。

其次,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。

第三,计算机技术的发展日新月异,作为一本专业基础课教材,不可能也没有必要处处体现先进技术;有时过于求新,反倒会使内容显得高深且难以理解。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,以降低学习的难度。

第四,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、小型计算机为主。

第五,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模型机,试图通过解剖这样一个小小的“麻雀”来介绍控制器的设计方法。

第六,各章内容相对独立,由浅入深,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。

本书还附有配套的电子教案,以便于教学使用,需要的教师可直接与清华大学出版社联系索取。

在本书编写过程中得到了“21 世纪大学本科计算机专业系列教材”编委会的多次指导和建议。重庆大学计算机系袁开榜教授亲自仔细审阅了本书的全部内容,提出了许多宝贵的修改意见。清华大学出版社的编辑们也为本书的出版做了许多工作。在此对他们辛勤的工作和热情的支持表示诚挚的感谢!

由于时间的原因以及个人的水平限制,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。如有问题可直接与作者联系,电子邮箱是:bs.jiang@163.com。

作 者

2003 年 11 月

目 录

CONTENTS

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	1
1.1.2 存储程序概念	2
1.2 计算机的硬件组成	3
1.2.1 计算机的主要部件	4
1.2.2 计算机的总线结构	5
1.2.3 大、中型计算机的典型结构	7
1.2.4 不同对象观察到的计算机硬件系统	7
1.2.5 冯·诺依曼结构和哈佛结构的存储器设计思想	9
1.3 计算机系统	10
1.3.1 硬件与软件的关系	10
1.3.2 系列机和软件兼容	11
1.3.3 计算机系统的多层次结构	12
1.3.4 实际机器和虚拟机器	13
1.4 计算机的工作过程和主要性能指标	13
1.4.1 计算机的工作过程	13
1.4.2 计算机的主要性能指标	14
习题	16
第 2 章 数据的机器层次表示	17
2.1 数值数据的表示	17
2.1.1 计算机中的数值数据	17
2.1.2 无符号数和带符号数	18

2.1.3	原码表示法	18
2.1.4	补码表示法	19
2.1.5	反码表示法	21
2.1.6	3种机器数的比较与转换	22
2.2	机器数的定点表示与浮点表示	23
2.2.1	定点表示法	23
2.2.2	浮点表示法	25
2.2.3	浮点数阶码的移码表示法	27
2.2.4	定点、浮点表示法与定点、浮点计算机	29
2.2.5	浮点数尾数的基数	30
2.2.6	实用浮点数举例	31
2.3	非数值数据的表示	33
2.3.1	字符和字符串的表示	33
2.3.2	汉字的表示	35
2.3.3	统一代码	38
2.4	十进制数和数串的表示	39
2.4.1	十进制数的编码	39
2.4.2	十进制数串	41
2.5	现代微型计算机系统中的数据表示举例	42
2.6	数据校验码	44
2.6.1	奇偶校验码	44
2.6.2	海明校验码	46
2.6.3	循环冗余校验码	50
习题		52
第3章	指令系统	55
3.1	指令格式	55
3.1.1	机器指令的基本格式	55
3.1.2	地址码结构	56
3.1.3	指令的操作码	58
3.2	寻址技术	61
3.2.1	编址方式	61
3.2.2	指令寻址和数据寻址	62
3.2.3	基本的数据寻址方式	63

3.2.4 变型或组合寻址方式	69
3.3 堆栈与堆栈操作	71
3.3.1 堆栈结构	71
3.3.2 堆栈操作	73
3.4 指令类型	74
3.4.1 数据传送类指令	74
3.4.2 运算类指令	75
3.4.3 程序控制类指令	76
3.4.4 输入输出类指令	78
3.4.5 80x86 指令系统举例	78
3.5 指令系统的发展	82
3.5.1 x86 架构的扩展指令集	82
3.5.2 从复杂指令系统到精简指令系统	83
3.5.3 VLIW 和 EPIC	83
习题	85
第 4 章 数值的机器运算	88
4.1 基本算术运算的实现	88
4.1.1 加法器	88
4.1.2 进位的产生和传递	90
4.1.3 并行加法器的快速进位	90
4.2 定点加减运算	93
4.2.1 原码加减运算	93
4.2.2 补码加减运算	94
4.2.3 补码的溢出判断与检测方法	96
4.2.4 补码定点加减运算的实现	99
4.3 带符号数的移位和舍入操作	99
4.3.1 带符号数的移位操作	100
4.3.2 带符号数的舍入操作	101
4.4 定点乘法运算	102
4.4.1 原码一位乘法	102
4.4.2 补码一位乘法	104
4.4.3 补码两位乘法	108
4.4.4 阵列乘法器	110

4.5	定点除法运算	111
4.5.1	原码除法运算	111
4.5.2	补码除法运算	114
4.5.3	阵列除法器	118
4.6	规格化浮点运算	118
4.6.1	浮点加减运算	119
4.6.2	浮点乘除运算	121
4.6.3	浮点运算器的实现	123
4.7	十进制整数的加法运算	123
4.7.1	一位十进制加法运算	123
4.7.2	十进制加法器	125
4.7.3	多位十进制加法	126
4.8	逻辑运算与实现	127
4.9	运算器的基本组成与实例	129
4.9.1	运算器结构	129
4.9.2	ALU 举例	131
4.9.3	浮点运算器举例	133
	习题	135

第5章 存储系统和结构 138

5.1	存储系统的组成	138
5.1.1	存储器分类	138
5.1.2	存储系统层次结构	140
5.2	主存储器的组织	141
5.2.1	主存储器的基本结构	141
5.2.2	主存储器的存储单元	142
5.2.3	主存储器的主要技术指标	143
5.2.4	数据在主存中的存放	144
5.3	半导体随机存储器和只读存储器	145
5.3.1	RAM 记忆单元电路	146
5.3.2	动态 RAM 的刷新	148
5.3.3	RAM 芯片分析	151
5.3.4	半导体只读存储器	154
5.3.5	半导体存储器的封装	156

5.4	主存储器的连接与控制	156
5.4.1	主存容量的扩展	157
5.4.2	存储芯片的地址分配和片选	159
5.4.3	主存储器和 CPU 的连接	161
5.4.4	主存的校验	163
5.4.5	PC 系列微型计算机的存储器接口	164
5.5	提高主存读写速度的技术	168
5.5.1	主存与 CPU 速度的匹配	168
5.5.2	FPM DRAM	168
5.5.3	EDO DRAM	169
5.5.4	SDRAM	169
5.5.5	DDR SDRAM	170
5.5.6	DDR2 SDRAM 和 DDR3 SDRAM	171
5.5.7	Rambus DRAM	171
5.5.8	双通道内存技术	172
5.6	多体交叉存储技术	173
5.6.1	并行访问存储器	173
5.6.2	交叉访问存储器	173
5.7	高速缓冲存储器	175
5.7.1	高速缓存工作原理	175
5.7.2	Cache 的读写操作	176
5.7.3	地址映像	177
5.7.4	替换算法	177
5.7.5	更新策略	179
5.7.6	PC 机中 Cache 技术的实现	179
5.8	虚拟存储器	180
5.8.1	虚拟存储器的基本概念	180
5.8.2	页式虚拟存储器	181
5.8.3	段式虚拟存储器	182
5.8.4	段页式虚拟存储器	183
5.8.5	快表与慢表	183
习题		184

第6章 中央处理器	187
6.1 中央处理器的功能和组成	187
6.1.1 CPU 的功能	187
6.1.2 CPU 中的主要寄存器	187
6.1.3 CPU 的组成	189
6.1.4 CPU 的主要技术参数	190
6.2 控制器的组成和实现方法	192
6.2.1 控制器的基本组成	193
6.2.2 控制器的硬件实现方法	194
6.3 时序系统与控制方式	195
6.3.1 时序系统	196
6.3.2 控制方式	198
6.3.3 指令运行的基本过程	199
6.3.4 指令的微操作序列	200
6.4 微程序控制原理	202
6.4.1 微程序控制的基本概念	202
6.4.2 微指令编码法	204
6.4.3 微程序控制器的组成和工作过程	206
6.4.4 微程序入口地址的形成	208
6.4.5 后继微地址的形成	208
6.4.6 微程序设计	209
6.5 控制单元的设计	212
6.5.1 简单的 CPU 模型	212
6.5.2 组合逻辑控制单元设计	215
6.5.3 微程序控制单元设计	220
6.6 流水线技术	223
6.6.1 重叠控制	223
6.6.2 先行控制原理	224
6.6.3 流水工作原理	225
6.7 精简指令系统计算机	227
6.7.1 RISC 的特点和优势	227
6.7.2 RISC 基本技术	229
6.8 微处理器中的新技术	230