



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

张晨曦 刘依 沈立 编著

计算机系统结构学习指导与题解

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

- 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

计算机系统结构 学习指导与题解

张晨曦 刘依 沈立 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是一本关于计算机系统结构课程的学习辅导书。全书共分为 13 章,内容覆盖面广,包括计算机系统结构的基础知识、指令系统的设计、流水线技术、向量处理机、指令级并行性及其开发——硬件方法、指令级并行的开发——软件方法、存储系统、输入输出系统、互联网络、多处理机、机群系统、阵列处理机、数据流计算机。每一章都由 4 节组成,分别是基本要求与难点、知识要点、习题以及题解。知识要点给出了各章的精华和要点。习题的类型有概念题、选择题、填空题、问答题和应用题。对于应用题,书中给出了详细的求解过程。

本书概念清晰,重点突出,覆盖面广,题型多样,是一本很有用的学习辅导书。本书与《计算机系统结构教程》(清华大学出版社)和《计算机系统结构》(高等教育出版社)是最佳的搭配,这两本书中的习题在这里都可以找到答案。当然,对于采用其他计算机系统结构教材的读者来说,也有较大的参考价值。

本书可作为计算机系统结构课程(上课或自学)的学习辅导书,也可作为计算机专业硕士研究生入学考试的复习指导书。

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

计算机系统结构学习指导与题解/张晨曦,刘依,沈立编著. —北京:清华大学出版社,2009.10
(21 世纪大学本科计算机专业系列教材)

ISBN 978-7-302-20507-4

I. 计… II. ①张… ②刘… ③沈… III. 计算机体系结构—高等学校—教学参考资料
IV. TP303

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 108701 号

责任编辑:魏江江 徐跃进

责任校对:时翠兰

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:北京市昌平环球印刷厂

装 订 者:三河市李旗庄少明装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260

印 张:17.75

字 数:440 千字

版 次:2009 年 10 月第 1 版

印 次:2009 年 10 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:26.00 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:034315-01

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

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。

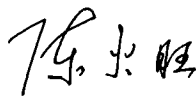
为了适应计算机科学与技术学科发展和计算机教学计划的需要,要采取多种措施鼓励长期从事计算机教学和科技前沿研究的专家教授积极参与计算机专业教材的编著和更新,在教材中及时反映学科前沿的研究成果与发展趋势,以高水平的科研促进教材建设。同时适当引进国外先进的原版教材。

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,进一步拓宽视野。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

计算机系统结构是计算机专业及相关专业的一门重要的专业课程。本书是专门为该课程编写的辅导书,既可作为该课程的教学参考书,也可作为自学该课程的辅导书,也可作为计算机专业硕士研究生入学考试的复习指导书。

全书共有 13 章。各章内容如下:

第 1 章讲述计算机系统结构的概念以及系统结构和并行性的发展,并介绍定量分析基础。

第 2 章是指令系统的设计,讲述计算机指令系统设计的各个方面。

第 3 章是流水线技术,讲述流水线的基本概念、分类和性能分析、非线性流水线的调度,介绍流水线中的相关和冲突问题及其解决方法,并讨论流水线的实现。

第 4 章是向量处理机,讲述向量处理机的结构、特点和性能评价。

第 5 章和第 6 章分别讲述如何用硬件和软件的方法来开发指令级并行。

第 7 章是存储层次,讲述 cache 的基本知识以及提高 cache 性能的方法,并对并行主存和虚拟存储器做了简要的讨论。

第 8 章是输入输出系统,讲述总线及其与 CPU/存储器的连接、通道处理机及其流量分析,并详细论述了廉价磁盘冗余阵列 RAID。

第 9 章是互连网络,讲述互连函数、互连网络的特性参数、静态互连网络、动态互连网络以及消息传递机制等。

第 10 章是多处理机,讲述对称式共享存储器系统结构、分布式共享存储器系统结构、多 cache 一致性、同步、同时多线程以及 MPP。

第 11 章是机群计算机,讲述机群的结构、软件模型以及机群的分类。

第 12 章是阵列处理机,讲述阵列处理机的操作模型、结构和特点以及并行算法。

第 13 章是数据流计算机,讲述数据流计算机模型、数据流程图和数据流语言、静态数据流计算机结构以及动态数据流计算机结构。

每一章都由 4 节组成,分别是基本要求与难点、知识要点、习题以及题解。知识要点给出了各章的精华和要点。习题的类型有概念题、选择题、填空题、问答题和应用题。对于应用题,书中给出了详细的求解过程。

本书的大部分内容 by 张晨曦教授编写,刘依和沈立编写了部分章节,孙太一、程志强和张硕也编写了部分内容。

本书概念清晰,重点难点突出,覆盖面广,题型多样,是一本很有用的学习辅导书。本书

与《计算机系统结构教程》(清华大学出版社)和《计算机系统结构》(高等教育出版社)是最佳的搭配,这两本书中的习题在这里都可以找到答案。当然,对于采用其他计算机系统结构教材的读者来说,也有较大的参考价值。

关于新的信息,请关注本网站:

www.GotoSchool.net

由于作者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正,把相关的信息发送到:xzhang2000@sohu.com。

第 1 章 计算机系统结构的基础知识	1
1.1 基本要求与难点	1
1.1.1 基本要求	1
1.1.2 难点	1
1.2 知识要点	1
1.2.1 计算机系统结构的基本概念	1
1.2.2 计算机系统的设计	3
1.2.3 计算机系统的性能评测	5
1.2.4 计算机系统结构的发展	7
1.2.5 计算机系统结构中并行性的发展	9
1.3 习题	11
1.3.1 概念题	11
1.3.2 选择题	11
1.3.3 填空题	11
1.3.4 问答题	12
1.3.5 应用题	13
1.4 题解	15
1.4.1 概念题	15
1.4.2 选择题	17
1.4.3 填空题	17
1.4.4 问答题	17
1.4.5 应用题	19
第 2 章 指令系统的设计	24
2.1 基本要求与难点	24
2.1.1 基本要求	24
2.1.2 难点	24
2.2 知识要点	24
2.2.1 指令系统结构的分类	24

2.2.2	寻址方式	25
2.2.3	指令系统的设计和优化	26
2.2.4	指令系统的发展和改进	28
2.2.5	操作数的类型和大小	29
2.2.6	MIPS 指令系统结构	29
2.3	习题	31
2.3.1	概念题	31
2.3.2	选择题	31
2.3.3	填空题	32
2.3.4	问答题	33
2.3.5	应用题	33
2.4	题解	34
2.4.1	概念题	34
2.4.2	选择题	35
2.4.3	填空题	35
2.4.4	问答题	35
2.4.5	应用题	38
第3章	流水线技术	43
3.1	基本要求与难点	43
3.1.1	基本要求	43
3.1.2	难点	43
3.2	知识要点	43
3.2.1	流水线的基本概念	43
3.2.2	流水线的性能指标	45
3.2.3	非线性流水线的调度	47
3.2.4	流水线的相关与冲突	47
3.2.5	流水线的实现	51
3.3	习题	55
3.3.1	概念题	55
3.3.2	选择题	55
3.3.3	填空题	56
3.3.4	问答题	56
3.3.5	应用题	57
3.4	题解	60
3.4.1	概念题	60
3.4.2	选择题	62
3.4.3	填空题	62
3.4.4	问答题	62

3.4.5 应用题	63
第4章 向量处理机	72
4.1 基本要求与难点	72
4.1.1 基本要求	72
4.1.2 难点	72
4.2 知识要点	72
4.2.1 向量的处理方式	72
4.2.2 向量处理机的结构	73
4.2.3 提高向量处理机性能的常用技术	74
4.2.4 向量处理机的性能评价	75
4.3 习题	76
4.3.1 概念题	76
4.3.2 填空题	76
4.3.3 选择题	76
4.3.4 问答题	77
4.3.5 应用题	77
4.4 题解	79
4.4.1 概念题	79
4.4.2 填空题	79
4.4.3 选择题	79
4.4.4 问答题	80
4.4.5 应用题	80
第5章 指令级并行性及其开发——硬件方法	83
5.1 基本要求与难点	83
5.1.1 基本要求	83
5.1.2 难点	83
5.2 知识要点	83
5.2.1 指令级并行的概念	83
5.2.2 相关与指令级并行	84
5.2.3 指令的动态调度	85
5.2.4 动态分支预测技术	90
5.2.5 多指令流出技术	93
5.3 习题	96
5.3.1 概念题	96
5.3.2 填空题	96
5.3.3 问答题	96
5.3.4 应用题	97

5.4 题解	100
5.4.1 概念题	100
5.4.2 填空题	100
5.4.3 问答题	101
5.4.4 应用题	103
第 6 章 指令级并行的开发——软件方法	111
6.1 基本要求与难点	111
6.1.1 基本要求	111
6.1.2 难点	111
6.2 知识要点	111
6.2.1 基本指令调度和循环展开	111
6.2.2 跨越基本块的静态指令调度	113
6.2.3 静态多指令流出: VLIW 技术	115
6.2.4 显式并行指令计算	116
6.2.5 开发更多的指令级并行	121
6.3 习题	124
6.3.1 概念题	124
6.3.2 问答题	124
6.3.3 应用题	125
6.4 题解	126
6.4.1 概念题	126
6.4.2 问答题	128
6.4.3 应用题	129
第 7 章 存储系统	133
7.1 基本要求与难点	133
7.1.1 基本要求	133
7.1.2 难点	133
7.2 知识要点	133
7.2.1 存储系统的层次结构	133
7.2.2 cache 基本知识	136
7.2.3 降低 cache 不命中率	141
7.2.4 减少 cache 不命中开销	143
7.2.5 减少命中时间	145
7.2.6 并行主存系统	147
7.2.7 虚拟存储器	149
7.3 习题	150
7.3.1 概念题	150

7.3.2	选择题	150
7.3.3	填空题	151
7.3.4	问答题	152
7.3.5	应用题	152
7.4	题解	154
7.4.1	概念题	154
7.4.2	选择题	156
7.4.3	填空题	156
7.4.4	问答题	156
7.4.5	应用题	160
第 8 章	输入输出系统	165
8.1	基本要求与难点	165
8.1.1	基本要求	165
8.1.2	难点	165
8.2	知识要点	165
8.2.1	I/O 系统的性能	165
8.2.2	I/O 系统的可靠性、可用性和可信性	166
8.2.3	廉价磁盘冗余阵列	166
8.2.4	总线	169
8.2.5	通道处理机	170
8.2.6	I/O 与操作系统	174
8.3	习题	175
8.3.1	概念题	175
8.3.2	选择题	175
8.3.3	填空题	175
8.3.4	问答题	176
8.3.5	应用题	176
8.4	题解	178
8.4.1	概念题	178
8.4.2	选择题	178
8.4.3	填空题	179
8.4.4	问答题	179
8.4.5	应用题	181
第 9 章	互连网络	184
9.1	基本要求与难点	184
9.1.1	基本要求	184
9.1.2	难点	184

9.2	知识要点	184
9.2.1	互连函数	184
9.2.2	互连网络的结构参数与性能指标	186
9.2.3	静态互连网络	187
9.2.4	动态互连网络	189
9.2.5	消息传递机制	191
9.3	习题	195
9.3.1	概念题	195
9.3.2	选择题	195
9.3.3	填空题	196
9.3.4	问答题	197
9.3.5	应用题	198
9.4	题解	200
9.4.1	概念题	200
9.4.2	选择题	200
9.4.3	填空题	201
9.4.4	问答题	201
9.4.5	应用题	203
第 10 章	多处理机	210
10.1	基本要求与难点	210
10.1.1	基本要求	210
10.1.2	难点	210
10.2	知识要点	210
10.2.1	引言	210
10.2.2	对称式共享存储器系统结构	213
10.2.3	分布式共享存储器系统结构	216
10.2.4	同步	219
10.2.5	同时多线程	223
10.2.6	大规模并行处理机	226
10.2.7	多处理机实例 1: T1	227
10.2.8	多处理机实例 2: Origin 2000	227
10.3	习题	228
10.3.1	概念题	228
10.3.2	填空题	228
10.3.3	问答题	229
10.3.4	应用题	229
10.4	题解	230
10.4.1	概念题	230

10.4.2	填空题	231
10.4.3	问答题	231
10.4.4	应用题	233
第 11 章	机群系统	236
11.1	基本要求与难点	236
11.1.1	基本要求	236
11.1.2	难点	236
11.2	知识要点	236
11.2.1	机群的基本结构	237
11.2.2	机群的特点	239
11.2.3	机群的分类	239
11.3	习题	240
11.3.1	概念题	240
11.3.2	问答题	240
11.4	题解	241
11.4.1	概念题	241
11.4.2	问答题	241
第 12 章	阵列处理机	243
12.1	基本要求与难点	243
12.1.1	基本要求	243
12.1.2	难点	243
12.2	知识要点	243
12.2.1	阵列处理机的操作模型和特点	243
12.2.2	阵列处理机的基本结构	244
12.2.3	阵列处理机实例	245
12.2.4	阵列处理机的并行算法举例	247
12.3	习题	248
12.3.1	概念题	248
12.3.2	填空题	249
12.3.3	问答题	249
12.3.4	应用题	249
12.4	题解	250
12.4.1	概念题	250
12.4.2	填空题	250
12.4.3	问答题	251
12.4.4	应用题	251

第 13 章 数据流计算机	253
13.1 基本要求与难点	253
13.1.1 基本要求	253
13.1.2 难点	253
13.2 知识要点	253
13.2.1 数据流计算机的基本原理	253
13.2.2 数据流程图和数据流语言	254
13.2.3 数据流计算机结构	255
13.2.4 数据流计算机的评价	258
13.3 习题	260
13.3.1 概念题	260
13.3.2 问答题	260
13.3.3 应用题	260
13.4 题解	261
13.4.1 概念题	261
13.4.2 问答题	261
13.4.3 应用题	263
参考文献	265

第 1 章

计算机系统结构的基础知识

1.1 基本要求与难点

1.1.1 基本要求

- (1) 掌握计算机系统结构的基本概念,如计算机系统的多级层次结构、虚拟机、计算机系统结构的定义、透明性、系列机,等等。
- (2) 理解计算机系统的多级层次结构。
- (3) 掌握计算机系统结构、计算机组成和计算机实现的定义,理解其关系。
- (4) 了解计算机系统结构的分类方法。
- (5) 掌握计算机系统设计的定量原理,能熟练地应用 Amdahl 定律和 CPU 性能公式进行定量分析。
- (6) 理解进行计算机系统设计的 3 种主要方法,重点掌握“由中间开始”的设计方法。
- (7) 理解进行计算机系统性能评测的基准测试程序法,理解如何进行计算机系统性能的比较。
- (8) 理解冯·诺依曼结构的特点及其改进。
- (9) 掌握实现软件移植的 3 种方法,理解系列机的概念及其根本特征。
- (10) 理解并行性的定义以及并行性的不同等级,掌握提高并行性的 3 种技术途径。
- (11) 了解单机系统和多机系统中并行性的发展。

1.1.2 难点

- (1) 计算机系统结构、计算机组成和计算机实现三者的定义与关系。如何判断某种技术是属于哪个方面的? 如何判断是否透明的?
- (2) Amdahl 定律和 CPU 性能公式,如何应用它们进行定量分析?

1.2 知识要点

1.2.1 计算机系统结构的基本概念

1. 计算机系统的层次结构

可以把计算机系统按功能划分成**多级层次结构**: 微程序机器级、传统机器语言机器级、