

可下载教学资料

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



高等学校教材
计算机科学与技术

计算机原理简明教程

王铁峰 沈美娥 王晓波 王欣 编著

清华大学出版社



高等学校教材
计算机科学与技术

计算机原理简明教程

王铁峰 沈美娥 王晓波 王欣 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书分为“数字逻辑”和“计算机组成原理”两部分：第一部分主要是逻辑代数与逻辑门电路、组合逻辑电路、时序逻辑电路、只读存储器与可编程逻辑器件，内容约占全书 1/3；第二部分主要内容是存储器组织、运算器、指令系统、控制器设计原理、输入输出系统、并行计算机体系结构，其中，还介绍了一些新技术，如磁性随机访问存储器、超线程技术、双内核技术、集群机概念，内容约占全书 2/3。

本书可作为高等学校计算机专业的教材，也可作为信息与计算科学、软件工程、管理与信息系统、管理科学等非计算机专业的教材，还可供从事计算机专业方向的工程技术人员及各类自学人员参考。

本书配套的电子课件可在清华大学出版社网站(www.tup.com.cn)下载。

版权所有，翻印必究。举报电话：010-62782989 13501256678 13801310933

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。

本书防伪标签采用特殊防伪技术，用户可通过在图案表面涂抹清水，图案消失，水干后图案复现；或将表面膜揭下，放在白纸上用彩笔涂抹，图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

计算机原理简明教程/王铁峰等编著. —北京：清华大学出版社，2006.9

(高等学校教材·计算机科学与技术)

ISBN 7-302-13439-1

I. 计… II. 王… III. 电子计算机—高等学校—教材 IV. TP3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 081312 号

出 版 者：清华大学出版社 地 址：北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编：100084

社 总 机：010-62770175 客户服务：010-62776969

组稿编辑：索 梅

文稿编辑：张为民

印 刷 者：北京密云胶印厂

装 订 者：三河市李旗庄少明装订厂

发 行 者：新华书店总店北京发行所

开 本：185×260 印张：15.75 字数：392 千字

版 次：2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月第 1 次印刷

书 号：ISBN 7-302-13439-1/TP·8440

印 数：1~4000

定 价：22.00 元

编审委员会成员

清华大学	周立柱	教授
	章 征	教授
	王建民	教授
	刘 强	副教授
	冯建华	副教授
北京大学	杨冬青	教授
	陈 钟	教授
	陈立军	副教授
北京航空航天大学	马殿富	教授
	吴超英	副教授
	姚淑珍	教授
中国人民大学	王 珊	教授
	孟小峰	教授
	陈 红	教授
北京师范大学	周明全	教授
北京交通大学	阮秋琦	教授
北京信息工程学院	孟庆昌	教授
北京科技大学	杨炳儒	教授
石油大学	陈 明	教授
天津大学	艾德才	教授
复旦大学	吴立德	教授
	吴百锋	教授
	杨卫东	副教授
华东理工大学	邵志清	教授
华东师范大学	杨宗源	教授
	应吉康	教授
东华大学	乐嘉锦	教授
上海第二工业大学	蒋川群	教授
浙江大学	吴朝晖	教授
	李善平	教授
南京大学	骆 斌	教授
南京航空航天大学	秦小麟	教授
南京理工大学	张功萱	教授

南京邮电学院	朱秀昌	教授
苏州大学	龚声蓉	教授
江苏大学	宋余庆	教授
武汉大学	何炎祥	教授
华中科技大学	刘乐善	教授
中南财经政法大学	刘腾红	教授
华中师范大学	王林平	副教授
	魏开平	副教授
	叶俊民	副教授
国防科技大学	赵克佳	教授
	肖 侬	副教授
中南大学	陈松乔	教授
	刘卫国	教授
湖南大学	林亚平	教授
	邹北骥	教授
西安交通大学	沈钧毅	教授
	齐 勇	教授
长安大学	巨永峰	教授
西安石油学院	方 明	教授
西安邮电学院	陈莉君	副教授
哈尔滨工业大学	郭茂祖	教授
吉林大学	徐一平	教授
	毕 强	教授
长春工程学院	沙胜贤	教授
山东大学	孟祥旭	教授
	郝兴伟	教授
山东科技大学	郑永果	教授
中山大学	潘小轰	教授
厦门大学	冯少荣	教授
福州大学	林世平	副教授
云南大学	刘惟一	教授
重庆邮电学院	王国胤	教授
西南交通大学	杨 燕	副教授

改革开放以来,特别是党的十五大以来,我国教育事业取得了举世瞩目的辉煌成就,高等教育实现了历史性的跨越,已由精英教育阶段进入国际公认的大众化教育阶段。在质量不断提高的基础上,高等教育规模取得如此快速的发展,创造了世界教育发展史上的奇迹。当前,教育工作既面临着千载难逢的良好机遇,同时也面临着前所未有的严峻挑战。社会不断增长的高等教育需求同教育供给特别是优质教育供给不足的矛盾,是现阶段教育发展面临的基本矛盾。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2001年8月,教育部下发了《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》,提出了十二条加强本科教学工作提高教学质量的措施和意见。2003年6月和2004年2月,教育部分别下发了《关于启动高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作的通知》和《教育部实施精品课程建设提高高校教学质量和人才培养质量》文件,指出“高等学校教学质量和教学改革工程”是教育部正在制定的《2003—2007年教育振兴行动计划》的重要组成部分,精品课程建设是“质量工程”的重要内容之一。教育部计划用五年时间(2003—2007年)建设1500门国家级精品课程,利用现代化的教育信息技术手段将精品课程的相关内容上网并免费开放,以实现优质教学资源共享,提高高等学校教学质量和人才培养质量。

为了深入贯彻落实教育部《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》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上;精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展、顺应并符合新世纪教学发展的规律、代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻

性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。首批推出的特色精品教材包括:

(1) 高等学校教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。

(2) 高等学校教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 高等学校教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 高等学校教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 高等学校教材·信息管理与信息系统。

(6) 高等学校教材·财经管理与计算机应用。

清华大学出版社经过 20 年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会

E-mail: dingl@tup.tsinghua.edu.cn

近十年来计算机技术已经取得巨大进步,为适应计算机教育发展,各学校现在普遍开设了信息与计算科学、软件工程、管理与信息系统、管理科学等新专业,很多学校的这些非计算机专业都开设了计算机组成原理课程,但不开设数字逻辑课程(对于计算机专业,数字逻辑是计算机组成原理必须先修的课程),使得这些专业的计算机组成原理课非常难讲,许多教师不得不加一些数字逻辑知识,本教材就是为了适应这种新形式编写的,包括简明数字逻辑知识和计算机组成原理知识的二合一内容。数字逻辑知识以计算机组成原理涉及到的内容为主,不同于专门的数字逻辑教材,只是简单介绍,以够用为准。计算机组成原理的选材原则是脱离具体机型,博采众家之长,围绕基本组成结构展开。教材内容紧跟计算机技术发展的最新潮流,体现最新进展和最新研究方向,做到少而精。

本教材系统地介绍了计算机各个部分的组成结构与基本工作原理。主要内容包括:实现设计计算机各组成部分所需的数字逻辑知识层内容——组合逻辑电路、时序逻辑电路、可编程器件,以及计算机组成原理内容——存储器体系、运算方法和运算器、指令系统、控制器、输入输出系统。此外,本教材最大特点是把当今计算机各组成部分的最新研究进展介绍给读者,例如主存储器最新研究领域是磁性内存条——磁性随机访问存储器(MRAM),专家预测它将来有可能取代半导体内存条,又如 CPU 的发展趋势,不再强调主频越快越好,而是采用双核 CPU。本教材最后一章介绍并行计算机,并把最先进的集群机作为例子,同时把一些专家认为的第六代超级计算机拥有的特征介绍给读者,所以本教材也适合计算机专业的学生使用。

本教材的结构分上下两个部分:第一部分为简明数字逻辑,包括第 1 章计算机发展概述、第 2 章逻辑代数与逻辑门电路、第 3 章组合逻辑电路、第 4 章时序逻辑电路、第 5 章只读存储器与可编程逻辑器件;第二部分为计算机组成原理,包括第 6 章存储器组织、第 7 章运算器、第 8 章指令系统、第 9 章控制器设计原理、第 10 章输入输出系统、第 11 章并行计算机体系结构简介。

由于教育部强调 21 世纪教学以创新为主,加强实验环节,减少课堂学时,增加实验学时,所以专业基础课的现有学时大多在 50 学时左右,比以前的 70~80 学时大大减少。因此本教材特别适合 50 学时左右的计算机组成原理课程教学。

本教材主要由王铁峰编写,沈美娥编写了第6章和第8章,王晓波编写了第7章,王欣编写了第2章和第3章,郁红英编写了第10章,臧玉洁编写了第1章。

几位编者虽然从事计算机组成原理教学工作多年,但知道自己的水平有限,计算机技术又不断发展,本教材难免有错误和不足,恳切希望同行和广大读者,特别使用本教材的教师和学生多提宝贵意见。

编 者

2006年8月

第 1 章 计算机发展概述	1
1.1 计算机发展史	1
1.1.1 第一代电子管计算机	1
1.1.2 第二代晶体管计算机	2
1.1.3 第三代集成电路计算机	2
1.1.4 第四代超大规模集成电路计算机	3
1.2 计算机系统的层次结构	3
1.3 超级计算机发展史	5
习题	5
第 2 章 逻辑代数与逻辑门电路	7
2.1 逻辑关系和逻辑门电路	7
2.1.1 逻辑“与”及“与门”	7
2.1.2 逻辑“或”及“或门”	8
2.1.3 逻辑“非”及“非门”	9
2.1.4 复合逻辑及复合门	9
2.2 逻辑代数的基本定律	12
2.2.1 逻辑函数的“相等”概念	12
2.2.2 逻辑代数的基本定律	12
2.3 逻辑函数的化简	14
2.3.1 逻辑函数的标准与或式和最简式	14
2.3.2 逻辑函数的公式化简法	17
2.3.3 逻辑函数的卡诺图化简法	18
2.4 常用 TTL 门电路芯片	22
2.4.1 TTL 与非门单元电路	22
2.4.2 几种常用 TTL 门电路芯片	22
习题	24

第3章 组合逻辑电路	25
3.1 组合逻辑电路的分析	25
3.1.1 分析方法	25
3.1.2 分析举例	26
3.2 组合逻辑电路设计	27
3.2.1 组合逻辑电路设计方法	27
3.2.2 组合逻辑电路设计举例	27
3.3 中规模集成电路逻辑部件	29
3.3.1 编码器	29
3.3.2 译码器及其应用	31
3.3.3 数值比较器	34
3.3.4 数据选择器及其应用	37
3.3.5 组合逻辑电路举例	41
习题	43
第4章 时序逻辑电路	45
4.1 触发器	45
4.1.1 用与非门组成的基本 RS 触发器	45
4.1.2 用“与非”门组成的钟控触发器	46
4.1.3 边沿触发器	49
4.2 寄存器和移位器	52
4.2.1 寄存器	52
4.2.2 移位器	55
4.2.3 相联存储器	58
4.2.4 用 JK 触发器实现寄存器	60
4.3 同步计数器	60
4.3.1 计数器设计	60
4.3.2 计数器集成芯片介绍	64
4.3.3 N 进制计数器	65
习题	66
第5章 只读存储器与可编程逻辑器件	70
5.1 只读存储器	70
5.1.1 只读存储器的结构	70
5.1.2 只读存储器的工作原理	71
5.1.3 只读存储器制造技术简介	72
5.1.4 只读存储器的应用	74
5.2 可编程逻辑器件	75

5.2.1	PLA 可编程逻辑阵列	75
5.2.2	PAL 可编程阵列逻辑简介	78
5.2.3	GAL 通用阵列逻辑简介	78
5.2.4	实例介绍	79
习题		84
第 6 章	存储器组织	85
6.1	主存储器的构成	85
6.1.1	主存储器芯片	85
6.1.2	主存储器容量的扩展	91
6.2	存储系统组织	94
6.2.1	双端口存储器与并行主存系统	94
6.2.2	高速缓冲存储器	96
6.2.3	替换策略及更新策略	101
6.2.4	虚拟存储器	102
6.3	主存储器的芯片技术	106
6.3.1	快速页式动态存储器	106
6.3.2	增强数据输出动态存储器	106
6.3.3	同步动态存储器	107
6.3.4	双速率同步动态存储器	107
6.3.5	磁性随机访问存储器	108
6.4	三级存储体系	109
6.5	磁盘存储设备	109
6.5.1	磁记录原理与记录方式	109
6.5.2	磁盘存储设备	112
习题		116
第 7 章	运算器	119
7.1	数据信息的表示方法	119
7.1.1	带符号数的表示	119
7.1.2	补码加减法	121
7.1.3	定点表示与浮点表示	124
7.1.4	溢出判断	126
7.1.5	字符的表示	127
7.2	算术逻辑运算部件	128
7.2.1	一位全加器	129
7.2.2	串行进位并行加法器	129
7.2.3	先行进位并行加法器	129
7.2.4	补码加法器	131

7.2.5 算术逻辑运算部件举例	131
7.3 定点乘除法运算	134
7.3.1 定点乘法运算	134
7.3.2 定点除法运算	141
7.4 浮点四则运算	142
7.4.1 浮点加减运算	143
7.4.2 浮点乘法运算	144
7.4.3 浮点除法运算	144
7.5 运算器组成	145
7.5.1 暂存器型运算器	145
7.5.2 多路选择器型运算器	145
习题	146
第8章 指令系统	148
8.1 指令格式	148
8.1.1 指令格式	148
8.1.2 指令字长	149
8.1.3 操作码格式	149
8.1.4 指令助记符	151
8.2 寻址方式	151
8.2.1 指令寻址方式	151
8.2.2 数据寻址方式	151
8.3 指令类型	155
8.4 CISC 和 RISC	155
8.5 Pentium II 指令格式	156
习题	157
第9章 控制器设计原理	158
9.1 基本概念	158
9.1.1 运算器及内总线	158
9.1.2 主存接口	159
9.1.3 控制器	160
9.2 机器指令的周期划分与控制信号	161
9.2.1 指令执行分析	161
9.2.2 指令执行周期	162
9.2.3 控制信号	162
9.3 指令执行流程	163
9.3.1 运算指令执行流程	163
9.3.2 传送指令执行流程	166

9.3.3 控制指令执行流程	166
9.4 微程序控制器	167
9.4.1 微程序控制的基本概念	167
9.4.2 微指令编码格式的设计	168
9.4.3 微程序控制器	169
9.5 时序系统	171
9.6 时序控制方式	171
9.7 模型机的主机设计	172
9.7.1 模型机指令系统设计	172
9.7.2 总体结构与数据通路	175
9.7.3 时序系统与时序控制方式	178
9.7.4 微指令格式	178
9.7.5 通用寄存器的控制逻辑表达式	181
9.7.6 微程序控制器	181
9.7.7 微程序流程图	184
9.7.8 微程序编制举例	186
9.7.9 模型机 CPU 设计过程总结	188
9.8 CPU 技术简介	188
习题	192
第 10 章 输入输出系统	194
10.1 输入输出设备简介	194
10.1.1 常用输入设备简介	194
10.1.2 常用输出设备简介	195
10.2 系统总线	199
10.2.1 系统总线种类	200
10.2.2 总线通信同步方式	201
10.2.3 总线争用控制	202
10.2.4 微机总线	204
10.3 输入输出接口	207
10.3.1 串行接口	208
10.3.2 并行接口	209
10.3.3 接口寻址	210
10.4 输入输出控制方式	210
10.4.1 程序直接控制方式	210
10.4.2 程序中断控制方式	211
10.4.3 DMA 控制方式	218
10.4.4 通道控制方式	220
习题	222

第 11 章 并行计算机体系结构简介	224
11.1 并行计算机结构分类	224
11.2 SIMD 并行计算机	225
11.2.1 阵列处理机	225
11.2.2 向量处理机	225
11.3 MIMD 并行计算机	227
11.3.1 多处理器系统	228
11.3.2 多计算机系统	229
11.3.3 集群机系统	231
11.4 第六代超级计算机概念	234
习题	235
参考文献	236

计算机发展概述

1.1 计算机发展史

1.1.1 第一代电子管计算机

为现代计算机奠定理论基础的英国人 Boole, 在 19 世纪创立了“布尔代数”。20 世纪初, Eccles 和 Jordan 两位工程师用电子管组成了双稳态触发器, 生产了记忆原件, 可以用来表示“1”和“0”, 这就为现代计算机打下了物质基础。被计算机科学界普遍认可的第一台计算机, 是 1946 年在美国宾夕法尼亚大学实验室诞生的, 称为电子数学积分和计算机 (Electronic Numerical Integrator and Computer, ENIAC)。它由 18 000 个电子管和 1 500 个继电器组成, 重达 30 吨, 功耗 150kW, 只有 20 个寄存器能存储数据。它的运算速度只有 5 000 千次每秒, 没有软件, 需靠 6 000 个开关和众多插座来编程进行运算。ENIAC 项目组的一个研究人员冯·诺依曼 (John von Neuman) 发现用大量的开关、插头来编程十分费时, 且极不灵活, 他提出程序可以用数字形式和数据一起在计算机内存中表示, 并用二进制替代十进制。

冯·诺依曼设计的计算机由五个基本部分组成: 存储器、运算器、控制器以及输入输出设备, 如图 1-1 所示。首先将编好的程序和数据由输入设备送入存储器中, 再将指令从存储器中取出送往控制器解释分析, 根据指令中的内容产生各种控制信号, 自动控制计算机中所有部件, 按时间顺序完成指令内容。这就是冯·诺依曼程序储存的概念, 也是当今绝大多数计算机遵循的规则。

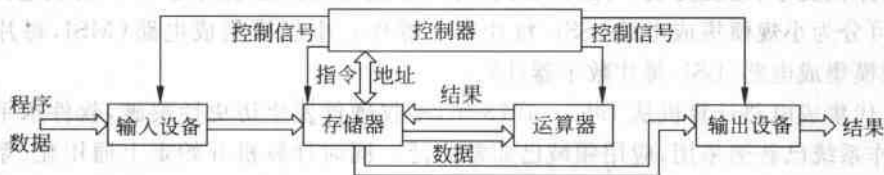


图 1-1 计算机的组成

第一代计算机硬件采用电子管(体积大, 功耗大)为基本器件, 软件主要为汇编语言。应用于 1945—1958 年间。这一时期的计算机主要为军事与国防技术服务, 重点发挥计算机的计算能力, 帮助人们解决复杂的计算问题。

1953 年 IBM 开始研制计算机, 并在几年内发展壮大, 成为领头企业, 到 1958 年推出了

最后一台电子管大型机产品 709。在第一代计算机中,IBM 的成功产品是 IBM650 小型机,销量超过千台,在当时已是很了不起了。中国在第一代电子管计算机发展后期,用一句话总结为“跟上了”。1958 年,中科院计算所成功研制出我国第一台小型电子管通用计算机 103 机(八一型)。

1.1.2 第二代晶体管计算机

晶体管是早在 1948 年,由贝尔实验室的 John Bardeen、Walter Brattain 和 William Shockley 发明的,但成为计算机的主要器件却是大大的滞后了。晶体管与电子管相比具有体积小、功耗低、工作速度快等许多优点,因此晶体管计算机被称为第二代计算机,主要用于 1958—1965 年间,第二代计算机不仅硬件上得到更新,软件上也有了很大的发展,主要体现在高级语言的使用上,如出现 Algol 高级语言,COBOL 和 FORTRAN 高级语言,使计算机编程更容易。另外某些机器上还出现了操作系统(OS)。

第二代计算机在应用上取得了发展,它不仅用于科学计算,还能进行数据处理,如第二代计算机上运行的 COBOL 语言就是数据处理所应用的高级程序并成功进入商业领域、大学和政府部门。这一时期出现了新的职业如程序员、分析员和计算机系统专家,同时,整个软件产业也由此诞生。

IBM7094 是第二代计算机的代表之一,在科学计算领域成为主力机型,它的机器周期为 $2\mu\text{s}$,有字长为 36 位的 32KB 核心内存。IBM 还开发了 IBM1041 机型,比 IBM7094 便宜很多,是商业领域主要机型,它能读写磁带、读卡 and 打卡,输出性能较好。

中国的第二代计算机发展情况总结为“与日本同期水平相当”。1965 年,中科院成功研制出第一台大型晶体管计算机 109 乙,之后推出 109 丙,该机为“两弹”试验发挥了重要作用。

1.1.3 第三代集成电路计算机

1958 年,美国的工程师 Jack Kilby 发明了集成电路 IC 芯片,将三种电子元件结合到一个小小的硅片上,在单个芯片上可集成几十个晶体管,然后封装。这个发明在 1964 年开始大规模采用,当时集成水平能达到几十、几百,第三代后期达到几千。集成电路的采用使计算机硬件体积更小、速度更快,可靠性更高(焊点数成倍减少是原因之一)。集成电路按集成度划分,可分为小规模集成电路(SSI,每片数十器件)、中规模集成电路(MSI,每片数百器件)、大规模集成电路(LSI,每片数千器件)。

第三代集成电路计算机从 1965—1973 年,不仅硬件发生历史性突破,软件水平也大大提高,操作系统已普遍采用,应用领域已非常广泛。同时计算机开始走上通用化、系列化道路。IBM360 系统是最早采用集成电路的通用计算机,也是影响最大的计算机,它为后来的计算机体系结构奠定了基础。

IBM360 同时满足科学计算和商务处理两方面要求,改变了 IBM7094 只能用于科学计算,而 IBM1041 只能用于商业的单一化,走向了通用化。IBM360 共有 6 种机型,具有相同汇编语言,处理能力是递增的。为低型号机写的软件在高型号机上运行没有问题,反过来只存在内存不足问题,这样就产生了系列化。IBM360 系列有 30、40、50、60、65 和 75 六个型