

WUTP

面向21世纪
高职高专计算机类
专业新编系列教材

Principles of Computer
Organization

计算机组成原理

主编 黄亚平

武汉理工大学出版社

Wuhan University of Technology Press

MOETP

教育部
普通高等教育
规划教材

Principles of Computer
Organization

计算机组成原理

主编 李国林

清华大学出版社

Beijing University of Posts and Telecommunications Press

面向 21 世纪高职高专计算机类专业新编系列教材

Principles of Computer Organization

计算机组成原理

主 编 黄亚平

副主编 黄春喜 王宏伟

Wuhan University of Technology Press

【内容提要】

本书是面向 21 世纪高职高专计算机类专业新编系列教材之一。本教材从高职高专学生的特点出发,简单地介绍了计算机各组成部件的基本概念、基本结构和工作原理。内容包括计算机系统概论、运算方法和运算器、存储系统、指令系统、中央处理器、总线系统、输入输出系统。

本书内容新颖,重点突出,注重介绍与实际应用有关的知识,力图反映计算机硬件的一些新技术和新发展。本书既可作为高职高专计算机及其他各类专业计算机组成原理课的教材,也可作为有关专业工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理/黄亚平主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2004. 9
(面向 21 世纪高职高专计算机类专业新编系列教材)
ISBN 7-5629-2066-4

I. 计... II. 黄... 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(2004)第 051489 号

出版发行:武汉理工大学出版社(武汉市洪山区珞狮路 122 号 邮政编码:430070)

HTTP://www.techbook.com.cn(理工图书网)

E-mail:duanchao@mail.whut.edu.cn tiandq@mail.whut.edu.cn

经 销 者:各地新华书店

印 刷 者:安陆市鼎鑫印务有限责任公司

开 本:787×960 1/16

印 张:17

字 数:333 千字

版 次:2004 年 9 月第 1 版

印 次:2004 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1—5000 册

定 价:23.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。本社购书热线电话:(027)87397097 87394412

凡使用本教材的老师,可拨打(027)87385610 免费索取电子教案光盘。

出版说明

面向新世纪,我国高等职业技术教育进入蓬勃发展的新时期。根据 IT 行业技术新、发展快的特点,高等专科学校、高等职业技术学院计算机类专业教育,按照社会主义市场经济规律的原则定位人才培养目标和调整教学方法,尽量按照新技术或新版本更新课程内容,加速各种新产品和新技术的推广应用,努力提升高等职业技术教育对国民经济发展的促进作用。

根据高等职业技术教育快速发展与教学改革对教材建设的需求,武汉理工大学出版社经过广泛调研,与国内近 30 所高等专科学校、高等职业技术学院的计算机教育专家进行探讨,决定组织编写一套适合于高等职业技术教育计算机类专业(涵盖计算机应用与维护、计算机网络技术、计算机软件技术等专业方向)人才培养和教学需要的具有特色的高质量教材——面向 21 世纪高职高专计算机类专业新编系列教材。

本套新编系列教材的编写具有以下特色:

1. 与时俱进,教材内容体现人才培养目标

本套教材的编写反映教育部制订的《高职高专教育基础课程教学基本要求》和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》的文件精神,贯彻高等职业技术教育“要服务于社会主义现代化建设,要与生产劳动和社会实践相结合”的宗旨,以培养一大批满足生产第一线需要的高等技术应用型人才为目标,坚持以技术应用型为主线的原则来编写教材内容,加强应用能力的培养。

2. 紧跟教学改革步伐,体现教学改革阶段性成果

本套教材的编写反映高职高专学校教学改革的阶段性成果,在处理“基础理论”与“实践能力”之间的关系上,遵循“基础理论以够用、必需为度,突出应用”的原则。教材编写坚持“少而精”的原则,以培养从

事计算机应用与维护、网络建设与维护及软件开发与测试等方面的能力,并能够快速跟踪计算机新技术发展的高等技术应用型人才为目标。坚持理论与实际相结合,采用“提出问题—分析问题—设计任务—解决任务—总结规律”的编写方法,努力创造出高职高专教材新体系。

3. 实现立体化出版,适应教育方式的变革

本套教材努力使用和推广现代化的教学手段,凡有条件的课程都准备组织编写、制作和出版与教材配套使用的实验、习题、课件、电子教案及相应的程序设计素材库。

本套教材首批 26 种预计在 2004 年秋季至 2005 年春季全部出齐。我们的编审者、出版者决不敢稍有懈怠,一定高度重视,兢兢业业,按最高的质量标准工作。教材建设是我们共同的事业和追求,也是我们的共同的责任和义务,我们诚恳地希望大家积极选用本套教材,并在使用过程中给我们多提意见和建议,以便我们不断修订、完善全套教材。

武汉理工大学出版社

2004 年 1 月

面向 21 世纪高职高专计算机类专业 新编系列教材编审委员会

顾问:

钟 珞 危道军

主任委员:

舒云星 雷绍锋

副主任委员:(以姓氏笔画为序)

刘德清 李庆亮 张树臣 张浩军 周松林

郭长庚 徐卓峰 崔轩辉 常荆燕 黄春喜

委员:(以姓氏笔画为序)

丁文华 王一兵 王学军 王海芳 刘自强

孙清伟 宋锦河 李京秀 李晓桓 何月顺

陈 年 陈松才 陈桂生 陈 鑫 张有谊

张晓云 张新成 苏 玉 周 炯 金 平

武 新 欧晓鸥 赵丽梅 赵 静 姜华斌

徐立新 徐善荣 秦振吉 郭荣冰 黄亚平

崔晓军 戴春霞

秘书长:田道全

总责任编辑:段 超 徐秋林

前 言

“计算机组成原理”是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程,也是非计算机专业学生掌握计算机应用技术的一门专业基础课程。

本书是面向 21 世纪高职高专计算机类专业新编系列教材,力求从高职、高专学生的特点出发,根据“计算机组成原理”课程的教学要求和特点,在教材内容的组织、编写上坚持“以应用为目的,以必需、够用为度”,力求做到:

- (1)内容全面,基本概念清楚;
- (2)系统性强,使学生能建立计算机整机概念;
- (3)有合理的知识结构,为进一步深入学习有关计算机后续课程打下良好的基础;
- (4)理论教学与实践教学相结合,注重学生的能力培养;
- (5)反映新技术、新动向,以适应计算机技术发展和变化的需要。

本书共分 7 章,第 1 章主要介绍计算机的发展、应用、主要的性能指标和计算机系统的组成;第 2 章介绍数据信息在计算机中的表示方法、数值数据的运算方法和运算器的组成;第 3 章主要介绍各种半导体存储器、高速缓冲存储器、虚拟存储器、高速存储器、存储保护以及由各种存储器组成的多级存储系统的工作原理;第 4 章介绍指令的格式、指令和操作数的寻址方式以及典型指令系统的组成;第 5 章介绍 CPU 的基本组成和功能、指令周期、组合逻辑控制器、微程序控制器及 CPU 的新技术等内容;第 6 章主要介绍总线的基本概念、总线接口、总线的仲裁、定时和数据传送模式以及微机常用的总线标准;第 7 章主要介绍输入输出系统的组成、输入输出设备寻址方式、主机与外设之间的信息交换方式、主要外部设备及其工作原理、程序中断方式、DMA 方式和通道控制方式等。

本书的前导课程是数字电子技术,本课程教学参考学时为 60 学时,其中理论学时为 50 学时,实验学时为 10 学时,各校可根据实际情况调整学时,对教学内容进行取舍。

本书的第 1 章和第 6 章由漯河职业技术学院的王荣编写,第 2 章由黄石理工学院的王宏伟编写,第 3 章由杭州职业技术学院的张俊编写,第 4 章、第 5 章由浙江工业大学职业技术学院的黄亚平编写,第 7 章由湖南建材高等专科学校的黄春喜编写。全书由黄亚平主编并统稿。

本书在编写过程中得到了浙江工业大学信息学院杨东勇教授的指导,杨教

授仔细审查了全稿,提出的宝贵意见已经反映在本教材中。同时也得到了武汉理工大学出版社的帮助和支持,在此一并表示衷心的感谢。

计算机科学技术发展迅速,理论性强,教材的时效性强。限于时间和编者的水平,书中难免存在不足和疏漏之处,恳请读者和从事计算机教学的各位同仁,对本书多提宝贵意见,使其逐步完善。在此,预致我们衷心的感谢。

编 者

2004 年 6 月

目 录

1 计算机系统概论	(1)
1.1 计算机的发展、分类和应用.....	(1)
1.1.1 计算机的发展	(1)
1.1.2 计算机的分类	(3)
1.1.3 计算机的应用	(5)
1.2 计算机的特点和主要性能指标	(7)
1.2.1 计算机的特点	(7)
1.2.2 计算机的性能指标	(8)
1.3 计算机系统的组成	(9)
1.3.1 计算机的硬件系统	(10)
1.3.2 计算机的软件系统	(13)
1.3.3 计算机系统的层次结构	(14)
习题与思考题	(18)
2 运算方法和运算器.....	(19)
2.1 数据信息的表示方法.....	(19)
2.1.1 数值数据的表示	(20)
2.1.2 非数值数据的表示	(28)
2.1.3 校验码	(32)
2.2 定点加、减法运算	(37)
2.2.1 补码加、减法	(37)
2.2.2 溢出概念与判断方法	(38)
2.2.3 基本的二进制加法、减法器	(39)
2.3 定点乘法运算.....	(41)
2.3.1 原码一位乘法	(41)
2.3.2 补码一位乘法	(42)
2.3.3 阵列乘法器	(43)

2.4 定点除法运算	(45)
2.4.1 原码一位除法	(45)
2.4.2 补码一位除法	(48)
2.4.3 阵列除法器	(50)
2.5 逻辑运算	(51)
2.5.1 逻辑非	(51)
2.5.2 逻辑或	(51)
2.5.3 逻辑与	(51)
2.5.4 逻辑异或	(52)
2.6 定点运算器的组成	(52)
2.6.1 多功能算术逻辑运算单元	(52)
2.6.2 定点运算器的基本结构	(56)
2.7 浮点运算方法和浮点运算器	(59)
2.7.1 浮点加法、减法运算	(59)
2.7.2 浮点乘法、除法运算	(61)
2.7.3 浮点运算器的基本结构	(63)
习题与思考题	(64)
3 存储系统	(67)
3.1 存储器概述	(67)
3.1.1 存储器分类	(67)
3.1.2 存储器的分级结构	(70)
3.2 主存储器	(73)
3.2.1 主存储器的主要性能指标	(73)
3.2.2 随机读/写存储器	(76)
3.2.3 只读存储器	(86)
3.3 高速缓冲存储器	(88)
3.3.1 Cache 存储器工作原理	(90)
3.3.2 主存与 Cache 的地址映射	(92)
3.3.3 替换策略	(95)
3.3.4 Cache 的写操作策略	(98)
3.4 虚拟存储器	(100)
3.4.1 段式虚拟存储器(Segmented-Memory Systems)	(101)
3.4.2 页式虚拟存储器(Paged-Memory Systems)	(103)
3.4.3 段页式虚拟存储器	(105)

3.4.4 虚拟存储器的工作过程	(106)
3.4.5 替换算法	(107)
3.5 高速存储器	(109)
3.5.1 多模块交叉存储器	(109)
3.5.2 双端口存储器	(111)
3.5.3 相联存储器	(113)
3.6 存储保护	(114)
3.6.1 存储区域保护	(114)
3.6.2 访问方式保护	(115)
习题与思考题	(117)
4 指令系统	(120)
4.1 指令系统的发展与性能要求	(120)
4.1.1 指令系统的发展	(120)
4.1.2 对指令系统性能的要求	(121)
4.2 指令格式	(122)
4.2.1 操作码	(122)
4.2.2 地址码	(123)
4.2.3 指令字长度	(124)
4.2.4 指令助记符	(125)
4.3 指令和数据的常用寻址方式	(126)
4.3.1 指令寻址方式	(126)
4.3.2 操作数寻址方式	(127)
4.3.3 寻址方式举例——Pentium 微处理器寻址方式	(133)
4.4 堆栈寻址方式	(135)
4.4.1 串联堆栈	(135)
4.4.2 存储器堆栈	(136)
4.5 典型指令	(139)
4.5.1 指令的分类	(139)
4.5.2 复杂指令系统和精简指令系统	(140)
习题与思考题	(142)
5 中央处理器	(145)
5.1 CPU 的功能和组成	(145)
5.1.1 CPU 的功能	(145)

5.1.2 CPU 的基本组成	(146)
5.2 指令周期	(149)
5.2.1 指令周期的基本概念	(149)
5.2.2 非访问内存指令 CLA 的指令周期	(150)
5.2.3 直接访问内存指令 ADD 的指令周期	(153)
5.2.4 直接访问内存指令 STA 的指令周期	(154)
5.2.5 NOP 指令和程序控制指令 JMP 的指令周期	(156)
5.2.6 用方框图语言表示指令周期	(158)
5.2.7 时序信号产生器	(160)
5.2.8 CPU 控制方式	(166)
5.3 组合逻辑控制器	(167)
5.3.1 组合逻辑控制器原理	(167)
5.3.2 组合逻辑控制器微操作控制信号的产生	(169)
5.4 微程序控制器	(169)
5.4.1 微程序控制器的基本原理	(169)
5.4.2 微指令格式	(173)
5.4.3 动态微程序设计	(175)
5.4.4 微程序举例	(175)
5.5 CPU 的新技术	(180)
5.5.1 流水 CPU	(180)
5.5.2 RISC CPU	(189)
5.5.3 多媒体 CPU	(190)
习题与思考题	(192)
6 总线系统	(195)
6.1 总线的基本概念	(195)
6.1.1 总线的分类、特性与标准化	(196)
6.1.2 总线的连接方式	(198)
6.2 总线接口	(200)
6.2.1 总线的数据传送方式	(200)
6.2.2 接口的基本概念	(200)
6.3 总线的仲裁、定时和数据传送模式	(201)
6.3.1 总线的仲裁	(201)
6.3.2 总线的定时	(204)
6.3.3 总线数据的传送模式	(205)

6.4 常用的总线标准	(206)
6.4.1 ISA、EISA 总线	(206)
6.4.2 VESA 局部总线	(209)
6.4.3 PCI 总线	(211)
6.4.4 其他总线	(217)
习题与思考题	(221)
7 输入输出系统	(222)
7.1 I/O 系统概述	(222)
7.1.1 输入输出系统的组成与功能	(223)
7.1.2 输入输出设备的寻址方式	(223)
7.1.3 信息交换方式	(224)
7.2 程序中中断方式	(226)
7.2.1 中断的基本概念	(226)
7.2.2 中断处理过程	(228)
7.3 DMA 方式	(231)
7.3.1 DMA 方式的基本概念	(231)
7.3.2 DMA 3 种工作方式	(231)
7.3.3 基本的 DMA 控制器	(231)
7.4 通道控制方式	(233)
7.4.1 通道控制概述	(233)
7.4.2 通道的类型	(234)
7.5 外部设备	(236)
7.5.1 外部设备的分类	(236)
7.5.2 输入设备	(236)
7.5.3 输出设备	(237)
7.6 外存储器	(244)
7.6.1 磁记录原理与记录方式	(244)
7.6.2 磁盘存储器	(247)
7.6.3 光盘存储器	(252)
7.6.4 USB 闪存盘	(253)
习题与思考题	(254)
附录 计算机专业名词英文缩写对照表	(255)
参考文献	(257)

1 计算机系统概论

本章提要

计算机系统是一个由硬件、软件组成的复杂的自动化设备。本章首先介绍电子计算机的发展过程、各种分类及应用,然后叙述计算机的特点和主要的性能指标,最后介绍计算机系统的组成。通过这一章的学习使我们对计算机系统先有一个整体概念,为今后深入讨论各个部件打下基础。

1.1 计算机的发展、分类和应用

由于科学技术的发展,促使了计算机的诞生。在公元 10 世纪,中国人发明了算盘,这种早期的计算工具采用十进制数运算,使用起来灵活方便,它是一种纯数字计算工具,至今仍被广泛应用;1642 年,法国科学家 B. Pascal 发明了能实现十进制加减法的机械计算机;20 世纪 40 年代初期,德国工程师 Komrad Zuse 采用继电器制造了二进制的机电式程控计算机。这些数字式计算工具的出现与发展,为电子数字计算机的发展奠定了基础。

1.1.1 计算机的发展

电子数字计算机简称电子计算机,它是一种不需要人们直接干预,能够自动、高速、准确地对各种信息进行处理和存储的电子设备。1946 年 2 月,世界上第一台电子数字计算机 ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer——电子数字积分机)问世了,它是由美国宾夕法尼亚大学研制成功的。ENIAC 用了 18000 多个电子管,1500 个继电器,占地 150m²,重达 30t,耗电 140kW/h,运算速度只有 5000 次/秒。ENIAC 是为了军事目的研制的,当

时,美国为了军事上的需要,主要是为了解决许多复杂的弹道计算问题,才在美国陆军部的资助下开始了这项工作,领导研制该计算机的是 J. P. Eckert(埃克特)和 J. W. Mauchly(莫克利)。如果从今天的视角去观察 ENIAC,它的性能并不好,但是在科学发展史上它却是一个重要的里程碑,是科学史上一次划时代的创新,它的诞生为计算机的发展奠定了技术基础。

ENIAC 问世已经半个多世纪了,计算机的发展已经历了 4 次更新换代,现在正向第 5 代发展。推动计算机换代的标志主要有两个:第一是计算机的电子器件。电子器件的发展对计算机的换代起着决定性的作用,当电子器件发生了根本性的变化时,其功能、速度、可靠性的提高和成本的降低,使计算机的发展有了物质的保障。第二是系统结构的特点。系统结构的不断改进,许多重要概念的不断提出并得以实现,都促进了计算机的换代。因此,系统结构的特点是计算机换代的重要标志。

第 1 代是电子管计算机时代(1946~1958)。这一代计算机的主要特点是:以电子管作为基本逻辑器件,用磁鼓或磁芯作为主存储器,磁带作为外存储器。CPU 用程序计数器和累加器顺序完成定点运算,软件处于初始阶段,使用机器语言与符号语言编制程序。计算机运算速度一般为每秒几千次至几万次,体积大,运算速度低,存储容量小而且可靠性差。这一代计算机主要用于科学计算。虽然这一代计算机体积大、功耗高、价格昂贵而且可靠性差,但它确立了计算机技术的发展基础。代表性的机器是冯·诺依曼的 IAS 计算机。

第 2 代是晶体管计算机时代(1958~1964)。这一代计算机的主要特点是:以晶体管作为基本逻辑器件,用磁芯作为主存储器,磁带、磁盘作为外存储器。增加了浮点运算方式,机器的运算速度达到每秒十万次至数百万次。在这一时期,软件方面开始使用计算机高级语言。这样,计算机具有体积小、质量轻、寿命长、耗电少、运算速度快、存储容量比较大等优点,不仅用于科学计算,还用于数据处理和事务处理,并逐渐用于工业控制。代表性的机器如 IBM 公司的 IBM7094。

第 3 代是集成电路计算机时代(1964~1975)。这一代计算机的主要特点是:以中、小规模集成电路作为基本逻辑器件,用半导体存储器作为主存储器,磁带、磁盘作为外存储器,采用了微程序设计技术。由于软件有了很大的发展,出现了操作系统等系统软件,因此机器的性能提高了,其运算速度达每秒数百万次至数千万次。同时体积与功耗都得到了进一步的减小,可靠性进一步提高。这一代计算机不仅用于科学计算,还用于文字处理、企业管理、自动控制等领域,在出现了管理信息系统之后,可用于生产管理、交通管理、情报检索等领域。出现

了系列化计算机,代表性的机器如 IBM 公司的 IBM360 系列以及 DNE 公司的 PDP-8 等。

第 4 代是大规模集成电路和超大规模集成电路计算机时代(1975 至今)。这一代计算机的主要特点是:以大规模集成电路作为基本逻辑器件,用半导体存储器作为主存储器,磁带、磁盘作为外存储器。随着软件越来越丰富,并且功能越来越强大,计算机系统结构方面也有了很大的发展,如分布式计算机系统。计算机在各种性能上都得到了大幅度提高,其运算速度达到每秒一千万次以上。代表性的机器如 IBM 公司的 IBM4300 系列等。1971 年下半年,英特尔(Intel)公司成功地研制出第一台微型计算机 MCS-4。作为第 4 代计算机重要产品的微型计算机的发展非常迅速,并且体积小、功耗低、价格便宜、功能不断完善,对计算机的普及起到了决定性的作用。以 IBM PC 微机为例,有 8088、80286、80386、80486、Pentium。

第 5 代计算机是智能计算机。它是由日本政府在 1981 年提出的十年计划,其目标是突破冯·诺依曼结构,实现智能计算机,也就是说利用计算机来模拟人的某些思维过程和智能行为,如自然语言理解、模式识别、机器人、专家系统等。目前,各个国家都投入了大量人力、物力和财力来研制第 5 代计算机,未来的计算机系统将是“知识信息处理系统”,即人工智能、模式识别与信息处理技术和通信技术相结合。

自从 1946 年冯·诺依曼提出存储程序的计算机方案以来,其后开发的计算机基本上采用的是冯·诺依曼结构。几十年来,随着电子技术、计算机技术的发展,对冯·诺依曼型计算机作了很多改进,使计算机系统结构有了新的发展。现代的计算机系统结构与冯·诺依曼型计算机系统结构相比,占主流地位的机器,其结构原理仍以存储程序原理为基础,只有少部分计算机,为了适应新的需要,对冯·诺依曼型计算机系统结构作了很多改进。

目前,正在研究的智能计算机具有类似人的思维能力,能“说”、“看”、“听”、“想”、“做”;能替代人的一些体力劳动和脑力劳动。不久的将来,还会出现速度更快、功能更强、更接近于人脑的光子计算机和生物计算机。总而言之,现代计算机正朝着巨型化、微型化的方向发展,计算机的传输和应用正朝着网络化、智能化的方向发展,并越来越广泛地应用于我们的工作、学习和生活中。

1.1.2 计算机的分类

按照不同的标准计算机有多种分类方法,如图 1.1 所示。下面介绍计算机的分类。