



普通高等学校计算机科学与技术专业规划教材

计算机组织与结构

COMPUTER ORGANIZATION AND ARCHITECTURE

徐 苏 主编

白小明 于海雯 副主编

110101110101011101010101011010101
1101010101001110010101010110101101
1101011010011010111010111001011011
101010110101110101000110101010010



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



普通高等学校计算机科学与技术专业规划教材

计算机组织与结构

COMPUTER ORGANIZATION AND ARCHITECTURE

徐 苏 主编

白小明 于海雯 副主编

林振荣 张 乐 李向军 参编



TP303/24

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

本书根据 IEEE/ACM 推出的 CC2005 和我国教育部高等学校计算机科学与技术教学指导委员会 2006 年发布的《高等学校计算机科学与技术专业发展战略研究报告暨专业规范(试行)》编写而成,内容涵盖了知识领域 CS-AR 计算机体系结构与组织的核心知识单元和知识点。全书共分 8 章,第 1 章~第 7 章全面讲述了单处理机系统的硬件组织和结构,包括计算机中的数据表示和运算、汇编级机器组织、存储系统的组织与结构、输入/输出系统的组织、CPU 的组织与结构及总线和接口等;第 8 章介绍了当前并行处理机系统的一些主流技术和体系结构,包括流水线技术、多处理机系统和机群系统等。

本书是作者集近 20 年计算机组成与计算机体系结构课程教学的经验,并在教学和科研过程中不断积累和提炼而写成。本书条理清晰,概念准确,所组织的内容不仅全面,而且整合了大量的新技术、新知识,为读者展现近些年来计算机技术发展的新成果。

本书适合作为各类高等院校计算机科学与技术专业的教材,也可作为相关专业工程技术人员和计算机爱好者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

计算机组织与结构/徐苏主编. —北京:中国铁道出版社, 2008. 4

(普通高等学校计算机科学与技术专业规划教材)

ISBN 978-7-113-08806-4

I. 计… II. 徐… 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 057078 号

书 名: 计算机组织与结构

作 者: 徐 苏 白小明 于海雯

策划编辑: 严晓舟 秦绪好

责任编辑: 周 欢

编辑部电话: (010) 63583215

封面设计: 付 巍

责任校对: 刘彦会

责任印制: 李 佳

出版发行: 中国铁道出版社(北京市宣武区右安门西街 8 号 邮政编码: 100054)

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

版 次: 2008 年 5 月第 1 版 2008 年 5 月第 1 次印刷

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 20.25 字数: 468 千

印 数: 5 000 册

书 号: ISBN 978-7-113-08806-4/TP·2837

定 价: 29.00 元

版权所有 侵权必究

本书封面贴有中国铁道出版社激光防伪标签,无标签者不得销售

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社计算机图书批销部调换。

普通高等学校计算机科学与技术专业规划教材

主 任：蒋宗礼（北京工业大学）

副主任：王志英（国防科技大学）

杨 波（济南大学）

委 员：（按姓氏音序排列）

常会友（中山大学）

陈俊杰（太原理工大学）

陈 明（中国石油大学）

陈笑蓉（贵州大学）

陈志国（河南大学）

顾乃杰（中国科技大学）

胡 亮（吉林大学）

黄国兴（华东师范大学）

姜守旭（哈尔滨工业大学）

李仲麟（华南理工大学）

刘腾红（中南财经政法大学）

罗军舟（东南大学）

王国仁（东北大学）

王命延（南昌大学）

吴 跃（电子科技大学）

袁晓洁（南开大学）

岳丽华（中国科技大学）

张 莉（北京航空航天大学）

本书责任编辑：胡 亮（吉林大学）

序 言

PREFACE

计算机学科虽然是一门年轻的学科,但它已经成为一门基础技术学科。其在各个学科发展中起着极其重要的作用,计算机学科的飞速发展使得社会对计算机科学与技术专业人才的需求极大,促使计算机科学与技术专业成为我国理工专业中规模最大的专业,它为我国高等教育发展作出了巨大贡献。近些年来,随着国家信息化建设的推进,作为核心技术的计算机技术,更是占有重要的地位。信息化建设,不仅需要更先进、更便于使用的先进计算机技术,同时也需要大批的建设人才。瞄准社会需求准确定位,培养计算机人才,是计算机科学与技术专业及其相关专业的历史使命,也是实现专业教育从劳动就业供给导向型向劳动就业需求导向型转变的关键,从而也就成为提高高等教育质量的关键。

教材在人才培养过程中占有重要地位,承担着“重要的责任”,确定了其高质量的基本要求。社会对计算机专业人才需求的多样性和特色,决定了教材建设的针对性,从而也造就了百花齐放、百家争鸣的局面。

关于建设高质量的教材,教育部已在提高本科教育质量的文件中提出了明确要求。教高[2005]1号(2005年1月7日)文件指出:“加强教材建设,确保高质量教材进课堂。要大力锤炼精品教材,并把精品教材作为教材选用的主要目标……要健全、完善教材评审、评介和选用机制,严把教材质量关。”为了更好地落实教育部的这些要求,我们按照教育部高等学校计算机科学与技术教学指导委员会发布的《高等学校计算机科学与技术专业发展战略研究报告暨专业规范(试行)》所构建的计算机科学与技术专业本科教育的要求,组织了这套教材。本套教材在编写过程中注重以下几方面的原则:

第一,作为优秀教材的基础,我们坚持高标准,以对教育负责的精神去鼓励、发现、动员、选拔优秀作者,并且有意识地培养优秀作者。优秀作者保证了“理论准确到位,既有然,更有所以然;实践要求到位、指导到位”等要求的实现。

第二,按照人才培养的需要强调适当的学科形态内容。粗略地讲,计算机科学的根本问题是“什么能被有效地自动计算”。科学型人才强调学科抽象和理论形态的内容;计算机系统工程的根本问题是“如何低成本、高效地实现自动计算”,工程型人才强调学科抽象和设计形态的内容;计算机应用的根本问题是“如何方便、有效地利用计算机系统进行计算”,应用型人才的培养偏重于技术层面的内容,强调学科设计形态的内容,在进一步开发基本计算机系统应用的层面上体现学科技术为主的特征。教材针对不同类型人才的培养,在满足基本知识要求的前提下,强调不同形态的内容。

第三,重视知识的载体作用,促进能力的培养。在教材内容的组织上,体现大学教育的学科性和专业性特征,参考《高等学校计算机科学与技术专业发展战略研究报告暨专业规范(试行)》示例性课程大纲,覆盖其要求的基本知识单元。叙述上力争引导读者进行深入分析,努力使读者在知其然的基础上,探究其所以然。通过对练习和实践的引导,进一步培养学生的能力,促使相应课程在专业教育总目标的实现中发挥作用。

第四,瞄准教学需要,提供更多支持。近些年来,随着计算机技术、网络技术等

教学上的应用,教学手段、教学方式不断丰富,教材的立体化建设对丰富教学资源发挥了重要作用。通常,除主教材外,还要配套教学参考书、实验指导书、电子讲稿、网站等。

第五,面向计算机专业的学生,强调教材的写作特征,努力做到叙述清晰易懂,语言流畅,深入浅出,有吸引力而不晦涩;追求描述的准确性,强调用词和描述的一致性,语言表达的清晰性和叙述的完整性;分散难点,循序渐进,防止多难点、多新概念的局部堆积。

我们相信,这套教材一定能够在培养社会需要的计算机专业人才上发挥重要作用,希望大家广为利用,并在使用中不断丰富。

普通高等学校计算机科学与技术专业规划教材编审委员会

2008年1月

前言

FORWARD

❖ 计算机学科的课程体系

一个学科的高等教育必须要有先进的教学理念和完整的课程体系,同时与该学科的发展也是紧密相关的。谈到计算机科学与技术学科的高等教育,就要提到两个国际组织,一是 IEEE,二是 ACM。IEEE 的全称是 Institute of Electrical and Electronics Engineers,即美国电气与电子工程师学会,是美国的一个工程技术和电子专家的组织,主要致力于电气、电子、计算机工程以及和信息技术与科学有关的领域的开发和研究。ACM 的全称是 Association for Computing Machinery,即美国计算机协会,是一个致力于工程技术和应用领域中信息技术科学教育的国际计算机组织。国际上最系统、最有影响的计算机专业的教学计划当属 IEEE-CS (IEEE 属下的计算机学会)与 ACM 各时期发表的指导性计划,它们对计算机学科教育方面的研究既全面又深入。其中,影响较大的有 ACM68 课程体系、ACM78 课程体系、IEEE-CS83 教程和计算机教程 1991(简称 CC1991)等。ACM68 课程体系和 ACM78 课程体系是基于课程定义的。CC1991 是 IEEE-CS 和 ACM 合作推出的,它将更多的科学原理引入计算机学科的教学计划设计中,给出了计算机学科的科学定义,解答了计算机学科教育界多年来存在的疑问和争论,同时它采用了知识领域 (knowledge area)、知识单元 (knowledge unit) 和知识点 (topic) 来描述计算机学科的核心知识体系,引导人们去考虑学科的本质和核心,从而制定出既符合各自培养目标又符合学科发展的课程体系。

1998 年秋,IEEE-CS 和 ACM 又成立了计算机教程 2001 (Computing Curricula 2001, CC2001) 联合工作组,并于 2001 年发布了计算机教程 2001 (即 CC2001)。CC2001 较好地反映了计算机学科自 1991 年来 10 年的发展及这个时期社会发展给学科教育带来的影响。它除了继承 CC1991 的知识描述体系外,又增加了各级课程的设计方法,并给出了一些推荐课程的描述。

从我国的计算机学科的教育看,1999 年前,我国“计算机专业”主要被分为计算机及应用和计算机软件两个专业。从 1999 年起,按照宽口径培养人才的需要,这两个专业被合并为一个专业,即计算机科学与技术。我国各高校计算机科学与技术专业的教学计划是在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的指导下制定的。CC2001 推出后,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给予了密切地关注,在对 CC2001 进行跟踪研究的基础上,结合我国计算机学科的发展现状和我国计算机教育的具体情况,提出了一个适合我国计算机学科教育的课程体系,即《中国计算机科学与技术学科教程 2002》(简称“CCC2002”)。

近几年,随着计算机技术的高速发展和在各行业应用的普及,社会对计算机学科领域人才的需求分工越来越细,计算机学科的高等教育也发生了变化,各高校在计算机学科先后设置了软件工程、网络工程、电子商务、信息安全等不同的专业或方向,以满足社会对不同专业人才的需求。自 CC2001 推出后,IEEE-CS 和 ACM 不断对其进行丰富,到 2005 年又推出了计算机教程 CC2005,提出了从科学、工程和应用等多个方面上培养

计算机学科人才的指导性方案。2006 年,我国教育部高等学校计算机科学与技术教学指导委员会在分析研究计算学科国内外发展和社会需求的基础上,发布了《高等学校计算机科学与技术专业发展战略研究报告暨专业规范(试行)》,提出了适应我国计算机科学与技术专业高等教育的教学规范。这一教学规范对于我国各高校在计算机科学与技术专业人才培养目标的确定和课程体系的制定等方面都给出了指导性建议。

❖ 为什么要学习本课程

对于学习汽车工程专业的学生来讲,无论是搞汽车外形设计,还是研究汽车的发动机,都必须对汽车的组成和工作原理有基本的了解。同样,对于计算机专业的学生来讲,了解和掌握计算机的组成及工作原理也是非常必要的。

目前很多高校计算机专业的学生在不同程度上有着重软轻硬的思想。这主要有两个方面的原因:一方面,近 10 年来,随着各行业管理信息系统建设的发展,社会对软件工程师(尤其是应用软件工程师)的需求越来越大,从事软件设计、软件编程、软件维护等方面的人员成为了 IT 公司、金融、政府及企事业单位紧缺的人才;另一方面,相对软件课程来讲,硬件课程学起来比较枯燥,没有像语言类软件课程有着学完就能使用的立竿见影的效果。例如,很多高校都开设了“Web 程序设计”课程,学生学完该课程后,就能设计网站或制作网页,学生当然很感兴趣。

实际上,在计算机系统中,计算机硬件和计算机软件是相关联的两个部分,硬件为软件的运行提供了一个平台,要编制高质量的软件程序,对计算机有一个整体的了解是十分重要的。对系统软件程序员来讲,系统软件是和硬件紧密相关的,系统软件程序员必须对机器级硬件十分地了解,才有可能编制出适应某一机器硬件的系统软件。对应用软件程序员来讲,对机器硬件的了解有助于他们编制更高效和优化的程序。例如,阵列计算机、并行处理计算机、多处理器以及近两年出现的基于多处理器的计算机系统,对并行计算提供了一个支持的平台。对程序员来讲,对计算机硬件实现的并行处理技术的了解,有助于他们充分利用并行计算环境,编制高效的并行程序。

最重要的,前面已经讲到,计算机学科的教育有一个完整的科学体系,课程的设置也是围绕这一体系来进行的。这一科学体系注重培养学生科学思维能力、创新实践能力、研究和应用能力以及继续学习的能力。作为学生来讲,应该认真学好每一门课程,掌握计算机学科领域所要求的各方面知识。只有这样,才能对本学科有一个完整地理解,才能成为真正合格的计算机科学与技术专业的学生。

计算机组织与结构是计算机专业一门重要的专业基础课程,也是 CC2001、CC2005 以及我国计算机科学与技术专业规范中确定的一门核心课程,它对于学生建立计算机整机概念,了解计算机系统的基本组成、结构和工作原理,从而对本学科其他知识领域和知识单元的内容有更深刻地理解有着非常重要的意义。

❖ 教材内容的组织

本教材在内容的组织上,按照 2006 年我国教育部高等学校计算机科学与技术教学指导委员会制定的《高等学校计算机科学与技术专业发展战略研究报告暨专业规范(试行)》中的知识领域“CS-AR 计算机体系结构与组织”所要求的内容进行编写。各章节涵盖的知识单元主要包括:

- | | |
|---------------------|-------|
| AR2 数据的机器级表示(核心学时) | 第 2 章 |
| AR3 汇编级机器组织(核心学时) | 第 3 章 |
| AR4 存储系统组织与结构(核心学时) | 第 4 章 |

AR5 接口和通信(核心学时)

第5章、第6章

AR6 功能组织(核心学时)

第7章

AR7 多处理和体系结构(核心学时)

第8章

本书共分8章,其中第1章介绍计算机的发展历程、计算机的分类、计算机的硬件组成及计算机的层次结构。第2章介绍二进制等基本的进位计数制;计算机中的数据表示、运算方法和实现;计算机中进行差错控制的数据校验码。第3章介绍计算机中汇编级指令的格式、地址结构;指令及操作数的寻址方式;指令的种类和功能、典型指令系统的组成等。第4章介绍存储器的组织、分类和分层结构;计算机主存储器的组成与工作原理;提高存储系统性能的交叉存储技术、高速缓冲存储器及虚拟存储器技术等。第5章介绍计算机输入/输出系统的组成;计算机输入/输出的控制方式;计算机存储设备——磁盘系统以及由磁盘阵列组成的 RAID 技术。第6章讲述计算机内部各部件之间的总线互连结构,介绍总线的基本概念、总线的类别和总线的控制方式等;列举几种现代计算机中常用的 ISA、PCI 等总线标准以及几种目前在计算机中常用的 USB、IEEE 1394 和 SCSI 等外部总线接口标准。第7章介绍 CPU 的功能与组成;通过一个模型机的例子介绍 CPU 的指令周期及执行指令的过程;介绍 CPU 控制部件设计的硬布线设计法和微程序设计法两种主要方法。第8章介绍计算机系统的并行性概念,对计算机中使用的时间重叠、资源重复和资源共享等提高并行性的技术途径进行概要性的介绍;然后分别介绍现代计算机普遍采用的流水线技术和多处理机技术等并行处理技术;最后对近些年发展起来且应用非常广泛的机群系统进行讨论。

◆ 教材的主要特色

结合计算机学科教育重基础、重发展、重创新的要求,本教材在内容组织和编写上有以下特点:

(1) 首先为学生建立整机的概念。在第1章,通过将学生日常所熟悉的实际使用的 PC 与计算机的基本组成部件进行对比,使学生对计算机整机的组成有一个初步地认识,对组成计算机系统的主要部件的基本功能有一个初步地了解。

(2) 按照从整机到部件自上而下的思想进行课程内容的组织,使学生在每一章节的学习中,都清楚所学章节的内容与整机的关联。同时对计算机组织与结构的各种概念、思想和原理等进行重点讲述。

(3) 围绕各章节的内容,穿插了一些“知识拓展”,介绍一些计算机系统方面的相关知识以及计算机发展的新技术、新知识等。如在第1章穿插了知识拓展——摩尔定律、知识拓展——计算机的性能评测,在第4章穿插了知识拓展——新型动态存储器 SDRAM 和 DDR,在第7章穿插了知识拓展——网络存储系统,在第7章穿插了知识拓展——CPU 未来微结构发展等,这些内容有利于学生开拓视野,增长知识。

(4) 为帮助学生更好地学习本课程,专门建设了计算机组织与结构课程教学网站。网站的课程介绍部分介绍了本课程的教学大纲、教学的组织和安排等;课程教学部分提供了按课堂教学单元进行组织的教学内容、重点难点等;教学资源部分为学生提供了本课程的教学课件和参考资料;学习讨论部分提供了一个学生与教师以及学生与学生之间的交流平台等。另外,教学管理部分还进一步为教师提供了一个学生管理、作业管理、考试管理和成绩管理等平台,教师可以通过本课程网站更好地组织本课程的教学。本书为江西省精品课程的主讲教材,课程教学网站地址为 <http://218.64.56.33>。

◆ 教材的学时安排

本教材建议总学时为 60~80 学时,各高校按照计算机专业课程体系中课程设置和讲授内容的不同可以灵活调整。

本教材由徐苏担任主编,白小明、于海雯为副主编,林振荣、张乐、李向军等参编并帮助进行课程教学网站的建设。吉林大学的胡亮教授认真审阅了全书,同济大学的张晨曦教授和国防科技大学的王志英教授、张春元教授等为本教材的编写提出了宝贵的意见。在此他们表示衷心感谢!

限于编者的能力和水平,本书难免存在不足之处,欢迎读者批评指正。

编 者

2008 年 3 月

目 录

CONTENTS

第 1 章 计算机系统概述	1
1.1 计算机的发展历程	1
1.2 计算机的种类	10
1.3 计算机的基本组成	12
1.4 计算机语言	18
1.5 计算机系统的分层组织结构	18
本章小结	20
习题一	20
第 2 章 数据的机器级表示及运算	22
2.1 数制及转换	22
2.1.1 进位计数制	22
2.1.2 数制的转换	24
2.2 数值数据的机器表示	27
2.2.1 数据的机器数表示	27
2.2.2 定点数和浮点数	29
2.3 非数值数据的机器表示	32
2.3.1 二进制编码的十进制数	32
2.3.2 字符编码	33
2.3.3 汉字的表示方法	36
2.4 定点数的运算及实现	38
2.4.1 定点数的加减运算	38
2.4.2 定点数的乘法运算	43
2.4.3 定点数的除法运算	46
2.5 浮点数的运算	49
2.5.1 浮点数的加减运算	49
2.5.2 浮点数的乘除运算	52
2.6 数据校验码	53
2.6.1 奇偶校验码	54
2.6.2 海明校验码	55
2.6.3 循环冗余校验码	57
本章小结	58
习题二	59

CONTENTS

第3章 汇编级机器组织	62
3.1 汇编级机器指令系统	62
3.1.1 指令系统的发展	62
3.1.2 指令系统性能的要求	63
3.1.3 指令操作的种类	65
3.2 指令格式	67
3.2.1 指令字长	68
3.2.2 地址码	69
3.2.3 操作码	70
3.3 数据的存储与寻址方式	74
3.3.1 数据的存储方式	74
3.3.2 寻址方式	75
3.4 RISC	81
3.4.1 精简指令集计算机(RISC)的出现	82
3.4.2 精简指令集计算机特点	82
3.5 指令系统举例	84
3.5.1 Pentium 微处理器指令系统	84
3.5.2 SPARC 指令系统	88
本章小结	90
习题三	90
第4章 存储系统组织与结构	94
4.1 存储系统概述	94
4.1.1 存储器的组织	94
4.1.2 存储器的分类	95
4.1.3 存储器的分层结构	97
4.2 半导体存储器	99
4.2.1 半导体存储器的种类	99
4.2.2 半导体存储器的组成与工作原理	100
4.2.3 主存储器的设计	103
4.3 交叉存储技术	110
4.4 高速缓冲存储器	113
4.4.1 Cache 实现的基本原理	113
4.4.2 主存与 Cache 的地址映射	115
4.4.3 替换算法	120

4.4.4	Cache 的写策略	121
4.4.5	Cache 性能分析	121
4.4.6	Cache 举例: Pentium 4 的 Cache 组织	123
4.5	虚拟存储器	124
4.5.1	虚拟存储器实现的基本原理	124
4.5.2	虚拟存储器的分页式管理	126
4.5.3	虚拟存储器的分段式管理	129
4.5.4	虚拟存储器的段页式管理	131
4.5.5	虚拟存储器的替换策略	133
4.5.6	虚拟存储器举例: Pentium 的虚拟存储器组织	134
	本章小结	136
	习题四	136
第 5 章	输入/输出系统组织	139
5.1	输入/输出系统概述	139
5.1.1	输入/输出设备	139
5.1.2	输入/输出接口	140
5.1.3	输入/输出设备的编址与管理	143
5.2	输入/输出控制方式	144
5.2.1	程序控制方式	144
5.2.2	中断控制方式	148
5.2.3	DMA 控制方式	159
5.2.4	通道控制方式	163
5.3	外部存储器的组织	167
5.3.1	磁盘存储器	167
5.3.2	磁带存储器	174
5.3.3	光盘存储器	175
5.4	RAID 技术	180
	本章小结	187
	习题五	188
第 6 章	总线与接口组织	191
6.1	互连结构	191
6.2	总线互连	192
6.2.1	总线的基本概念	193
6.2.2	总线互连结构	194

CONTENTS

6.2.3 总线的控制方式	196
6.3 总线标准及举例	198
6.3.1 总线标准	198
6.3.2 ISA 总线	199
6.3.3 PCI 总线	200
6.3.4 现代微机总线配置	204
6.4 外部总线接口	206
6.4.1 SCSI 接口	206
6.4.2 IEEE 1394 接口	209
6.4.3 USB 接口	212
本章小结	214
习题六	215
第 7 章 CPU 组织与结构	216
7.1 CPU 的功能和组成	216
7.1.1 CPU 的功能	216
7.1.2 CPU 的基本组成	217
7.1.3 CPU 的寄存器组织	219
7.2 指令周期	221
7.2.1 几个时间概念	221
7.2.2 典型指令的指令周期	223
7.2.3 指令周期的方框图语言描述	229
7.3 CPU 的时序和控制	230
7.3.1 CPU 的时序系统	230
7.3.2 CPU 的控制方式	232
7.4 控制部件的硬布线实现	233
7.4.1 硬布线控制器的基本原理	234
7.4.2 硬布线控制器设计举例	235
7.4.3 硬布线控制器的缺点及其改进	238
7.5 微程序控制器	238
7.5.1 微程序控制的基本概念	239
7.5.2 微程序控制器的组成	241
7.5.3 微程序设计举例	242
7.5.4 微程序控制的特点	245

7.6 微程序设计技术.....	246
7.6.1 微命令编码	246
7.6.2 微地址的形成方法	249
7.6.3 微指令的格式及执行方式	252
7.7 典型 CPU 及主要技术	256
本章小结	261
习题七	261
第 8 章 并行组织	267
8.1 计算机系统的并行性	267
8.1.1 计算机体系结构的概念	267
8.1.2 体系结构中的并行性	268
8.1.3 提高并行性的技术途径	269
8.1.4 并行计算机体系结构的分类	271
8.2 流水线技术	274
8.2.1 流水线的基本概念	275
8.2.2 流水线的分类	276
8.2.3 流水线的主要性能参数	278
8.2.4 流水线的相关问题	281
8.2.5 流水线调度	284
8.2.6 超流水线技术	287
8.3 多处理机系统	291
8.3.1 多处理机系统分类	291
8.3.2 多处理机的 Cache 一致性	293
8.3.3 多处理机操作系统	295
8.3.4 多处理机的并行性实现	296
8.4 机群系统	300
8.4.1 机群系统的定义	300
8.4.2 机群系统的组成	301
8.4.3 机群系统中的关键技术	302
8.4.4 机群系统举例	303
本章小结	305
习题八	305
参考文献	308

第1章

计算机系统概述

从1946年第一台电子计算机 ENIAC 的诞生到现在,计算机的发展已走过了半个多世纪的历程。在这半个多世纪的时间里,人类在计算机技术领域所取得的成就几乎是其他任何技术领域都无法比拟的。单从衡量计算机性能的重要指标之一——运算速度来看,ENIAC 的运算速度是每秒 5 000 次,而现代计算机的运算速度已超过每秒万亿次水平,整整提高了 10^{10} 倍以上。

本章首先介绍计算机的发展历程,其中,器件技术是计算机发展的核心;然后介绍按 IEEE 分类法的计算机的分类;最后,作为本书的一个“序”,概括性地介绍计算机的硬件组成及计算机的层次结构。

1.1 计算机的发展历程

计算机技术的飞速发展离不开其所依赖的器件技术的发展。在计算机领域,人们普遍把计算机的发展划分为 5 代,而这一划分所依据的正是计算机所使用的基本元器件。可以说,器件技术是计算机发展的重要物质基础和技术保障。

1. 第零代:机械时代

随着科学的发展,商业、航海和天文学都提出了许多复杂的计算问题,很多人都关心计算工具的发展,希望借助计算工具提高计算的效率,于是人们开始研究和设计具有计算能力的“计算机器”(Calculating Machine)。

世界上第一台以齿轮驱动的计算机器应该是由德国人 Wilhelm Schickard 教授于 1623 年设计并建造的计算钟(Calculating Clock),如图 1-1 所示。但它并没有得到人们的关注,因为 Wilhelm Schickard 在发明该机器不久就死于疾病。

1642 年,法国数学家、物理学家帕斯卡(Blaise Pascal)在年仅 19 岁时发明了一台机械加法器 Pascaline(见图 1-2),以帮助其父亲收税时计算使用。由于成本和计算准确度问题,Pascaline 仅售出了 50 台。Pascaline 由一套 8 个可旋转的齿轮系统组成,只能进行加法运算,实现自动进位,并配置一个可显示计算结果的窗口。虽然现在汽车的仪表盘的显示已数字化,但其中里程表中仍然采用了与 Pascaline 相类似的机械工作原理。

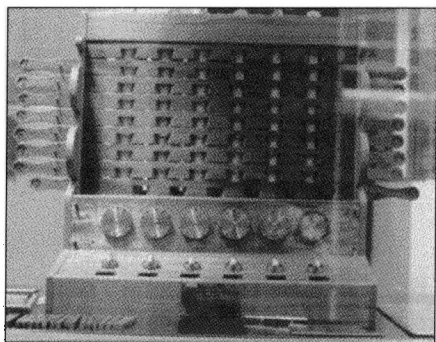


图 1-1 Calculating Clock

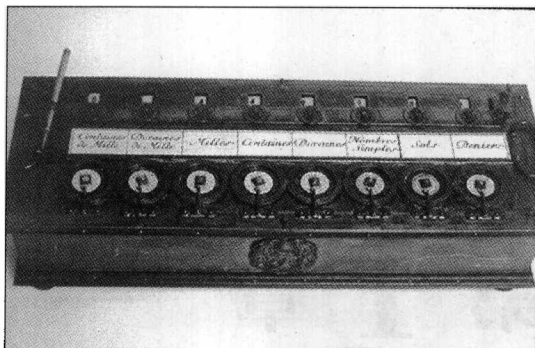


图 1-2 8 齿轮的 Pascaline

1670 年, 德国数学家、哲学家莱布尼兹 (Gottfried Leibniz) 改进了 Pascaline, 发明了一个被称为步进式计算器 (Stepped Reckoner) 的计算机, 它具有加、减、乘、除 4 种运算功能。值得一提的是, 虽然在 Stepped Reckoner 上使用是十进制数, 但莱布尼兹是首先提出使用二进制计算的科学家, 这为现代计算机奠定了基础。但是, 所有的这些计算设备或工具都不能进行编程计算, 也没有存储器, 计算过程中的每一步都需要人手工参与才能进行。

尽管像 Pascaline 这类的计算机一直使用到 20 世纪, 但在 19 世纪时就已经开始出现了新型计算工具的设计。这其中, 最引人注目的是由英国数学家巴贝奇 (Charles Babbage) 于 1822 年设计的差分机 (Difference Engine) (见图 1-3)。这台机器能够计算数表, 如对数表。由于当时数表在航海中的重要性, 他得到了英国政府的资助。1833 年, Charles Babbage 又在差分机的基础上设计了一种多用途的机器, 称为分析机 (Analytical Engine)。分析机已经具备了执行任意类型的数学运算的能力, 同时还包含了现代计算机的许多部件: 一个算术处理部件进行计算工作 (Babbage 称之为运算逻辑部件——mill), 一个存储器 (store), 以及输入/输出设备。可以说分析机已经具有现代计算机的概念, 但因当时的技术条件限制而未能制造完成。

1888 年, 美国统计学家霍勒瑞斯 (Herman Hollerith) 为人口统计局建造了第一台机电式穿孔卡系统——制表机, 它是将机械统计原理与信息自动比较和分析方法结合起来的统计分析机, 使美国统计人口所需的时间从过去的 8 年缩短为 2 年。霍勒瑞斯在 1896 年创办了制表机公司, 1911 年他又组建了一家计算制表记录公司, 该公司到 1924 年改名为国际商用机器公司, 这就是举世闻名的美国 IBM 公司。

1938 年, 德国工程师朱斯 (Konrad Zuse) 成功制造了第一台二进制计算机 Z-1, 它是一种纯机械式的计算装置, 它的机械存储器能存储 64 位数。此后他继续研制了 Z 系列计算机, 其中 Z-3 型计算机是世界上第一台通用程序控制的机电计算机, 它使用了 2 600 个继电器, 采用二进制进行运算, 运算一次加法只用 0.3s, 如图 1-4 所示。

1944 年, 美国麻省理工学院科学家艾肯 (Howard Aiken) 研制成功了一台通用型机电计算机 MARK-I, 如图 1-5 所示, 它使用了 3 000 多个继电器, 总共由 15 万个元件组成, 各种导线总长达到 800km 以上。1947 年, 艾肯又研制出运算速度更快的机电计算机 MARK-II。

至此在计算机技术上存在着两条发展道路, 一是各种机械式计算机的发展道路; 二是采用继电器作为计算机电路元件的发展道路。后来建立在电子管和晶体管等电子元件基础上的电子计算机正是受益于这两条发展道路。