

1

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材

计算机组成原理

(第3版)

王 诚 编著



清华大学出版社

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材

计算机组成原理 (第3版)

王 诚 编著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书共分6章。第1章为计算机组成概述;第2章介绍数字电路基础和计算机中常用的逻辑器件;第3章~第6章讲解计算机组成原理的主体内容,包括计算机系统的中央处理器(CPU)、存储器系统和输入输出系统。本书的配套光盘提供了完整的电子版教案、教学中重点、难点内容的动画演示及实验演示。

本书是计算机专业的本科生“计算机组成原理”课程的教材,也可供从事与计算机相关业务的生产、科研和工程技术人员参考。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理 / 王诚编著. —3版. —北京:清华大学出版社,2003.12

(教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材)

ISBN 7-302-07797-5

I. 计… II. 王… 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(2003)第116048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: 马瑛珺

文稿编辑: 徐跃进

印 装 者: 北京国马印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×260 印 张: 18.5 字 数: 425 千 字

版 次: 2004年1月第3版 2004年1月第1次印刷

书 号: ISBN 7-302-07797-5/TP·5683

印 数: 1~5000

定 价: 30.00元(含光盘)

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、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)62770175-3103或(010)62795704。

序

我们正处在跨越世纪的门槛上,人类社会在一股股变革性力量的推动下发生着根本性的变化。知识经济时代的到来向我们显示,一个国家最重要的资源已经不再是土地、劳动力或资本,而是其国民的知识和创造力;国与国的竞争虽然常常表现为政治、经济或军事实力的较量,但归根到底已是一场教育和科技的竞争。换言之,国家的综合实力将主要由其国民的教育水平来决定。一时间,世界各国的校长们、跨国企业的巨头们乃至许多政府首脑们都在纷纷议论 21 世纪的教育,以迎接知识经济的挑战。我们中华民族有着延续几千年的文明,现在为在世界民族之林重振雄风,再展辉煌,发出了时代的特强音:实施科教兴国,提高全民素质。从中央领导到广大群众,都对教育提出了更高的要求,寄予了更大的希望,同时也给予了更多的支持。人们在这方面的思想观念正在发生深刻变化,实践探索也正在脚踏实地地进行。

中国的高等教育走过了一个多世纪的路程,已经过去的 20 世纪正是它从无到有、从小到大、由产生到发展的一段百年历史。今天中国人民已在短短的数十年时间里构筑了资本主义国家好几百年才形成的高等教育体系,涌现出一批高水平的学校,培养了一大批高层次优秀人才,取得了辉煌的成就。但是在新时期,教育不适应现代化建设需要的矛盾不断显露,我国劳动者受教育水平普遍较低的现象无法面对新世纪的机遇和挑战,我国高等教育的发展现状也难以满足广大人民群众空前强烈的受教育需求。一代伟人邓小平早在 10 年前就一针见血地指出,我们的最大失误是教育,一是放松了对青少年的思想道德教育,二是教育规模发展不够快。现在看来,这两个问题依然是制约国家发展的症结所在。一个 12 亿人口的泱泱大国,高等学校的毛入学率仅 10% 左右,实在很不相称。我国的高等教育已经面临着大力发展、高速发展,从根本上改变落后状态的紧迫问题。

令人欣慰和鼓舞的是中国有一所全世界最大的大学——中国广播电视大学,上百万的学生遍布在 960 万平方公里的辽阔土地上。它突破传统教育在空间上的限制,在相当程度上摆脱了传统教育在时间上的束缚,以覆盖面广、全方位为各类社会成员提供教育服务的优势,成为中国高等教育体系中的一个重要组成部分。20 多年来,它为实现高等教育大众化,为提高我国劳动者的整体素质,为变巨大的人口包袱为巨大的人力资源,以形成浩浩荡荡的高水平建设大军,发挥了不可磨灭的作用。最近,中央电大又有重大改革举措,进一步面向社会开展了“开放教育”等项试点工作,在教育思想、招生对象、培养模式、管理机制方面进行新的探索。尤其引人注目的是中央电大与国内的一些重点高校形成了紧密的合作关系,携手为我国现代远程教育开拓新路。重点高校有学科和教学上的优势,它们的加盟有利于电大提高教学质量、办出特色;而中央电大有很丰富的教育资源,有完整的办学系统,有一支富有经验的教学与管理队伍,特别是有较强的社会服务意识和人才市场意识,这对于需要进一步向社会开放的普通高校而言,又有许多值得学习和借鉴之处。我们完全有理由相信,中央电大和重点高校的结合,不仅可以在现阶段实现优势互

补、资源共享,而且有可能形成一种符合我国国情的最具潜力的新型教育模式。

现在摆在我们面前的“教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材”就是中央电大和清华大学合作的产物。在开放教育试点启动之际,在计算机及其网络技术日新月异,其爆炸式发展和神话般应用使人们眼花缭乱、不知所措之时,在我国至少缺乏数10万计算机软件及网络技术人才的当口,这套教材像雪里送炭,像清风送爽,终于在人们的企盼和惊喜中问世了。它确实及时和解渴。教材的编者是清华大学计算机系一批学术水平高、教学经验丰富的教授,他们以知识、能力和素质的全面训练为目标,将教材的先进性、实用性和可读性融为一体。教材纲目清楚,重点突出,深入浅出,便于自学。书中每章有小结,章章有习题,有的还配有实验指导和习题解答,不仅对计算机专业学生适用,其他专业的学生也可以从此入门。清华大学的老师们还准备为这套教材制作多媒体导读光盘和网络辅导教材,指明教学基本要求,区分应该熟练掌握和只需一般了解的内容,并进行重点、难点分析和讲解。这全套的教材称得上是难得的好书。

对于中国广播电视大学,我是颇有感情的,不只是因为它过去的功绩和带给人们未来的曙光,还因为我本人20年前也曾参与过中央电大《电子技术基础》课程的教学工作。那时我收到许多电大学生热情洋溢的来信,强烈感受到他们对知识与教育的渴求,感受到他们学习的艰辛和坚韧不拔的毅力,同时也感受到了广大学生对我的信任和鼓励。当年的电大学生如今多数已成为我国经济建设和社会发展中的骨干,一些人后来获得了博士学位,有的已成为我国重点大学的教授。中央电大的成功实践已在社会上赢得了很好的声誉,而当前扩大教育规模、构建终身学习体系的社会呼唤又给电大今后的发展提供了新的难得的机遇。近年来,信息网络与多媒体技术突飞猛进,也使电大的远程教育形式跃上了现代化的新台阶。这次中央电大和清华大学合作,共同在计算机专业开放教育改革试点中付出了辛勤的劳动,播下了希望的种子。我期待着中央电大有更多的创新,更大的发展,更加充满活力。我也殷切希望电大的学生们为中华民族的强盛而自强不息,学有所成。

努力吧,中国广播电视大学一定能成为中国教育界一颗璀璨的明珠。

清华大学副校长、教授 胡东成

2000年8月于北京

前 言

本教材已经出版了两版。通过几年的使用,许多教师和学生提出了一些很好的意见和建议,希望做一些较为重大的修订,经过认真的论证和探讨,决定出版新的版本。在这一版中的主要变动体现在以下几个方面:

(1) 增加了概述一章,使学生尽早地对计算机组成概貌有一个整体认识。

(2) 对原来第1章的教学内容做了重大修改,线路知识从半导体讲起,门电路强调它的逻辑功能和外特性,计算机中所用的逻辑器件和功能部件设计等内容密切结合教学计算机实例,使第2章和后4章的内容形成一个统一的整体,在同等教学要求的前提下,有利于减少教学学时。

(3) 对教学内容做了一定程度的精简,使重点教学内容更加突出,对不是很重要的部分做了简化,还适当地淡化了计算机实现中的逻辑线路部分的具体内容。

(4) 作为教学内容实例的背景计算机,由8位字长变更为16位字长的教学机,指令格式和指令执行流程设计更加简单和易于理解,在确保教学质量的同时,有利于减轻学生学习负担。

(5) 改进教学实验的安排,既突出了原理,又简化了操作。例如,控制器的教学内容,从硬连线的控制器为主,改变为微程序的控制器为主,教学实验内容也随之变为用新的微程序解释扩展的新指令。为此,在教学计算机的微程序控制器中,增加了直接写入新的微程序的功能,使教学实验操作更加简单快捷。

在编写本版教材的过程中,已经注意到教学安排的连贯性和适当的稳定性,除增加第1章之外,教材中原来的教学内容仍维持相同的架构,全书共分为6章。

第1章是概述,简明介绍计算机组成的五大功能部件及其相互连接关系,计算机系统组成的层次概念,计算机的发展进程等内容。

第2章简明讲解数字逻辑电路基础和计算机中的逻辑部件,属于本书的预备性知识。在给出某些(不是全部)基本(大体上是定性而不是定量分析)知识的同时,更多地强调了计算机组成的基础电子线路知识与逻辑设计。本章中给出的数字逻辑电路设计与应用的例子,就直接取自于教学计算机中所用到的实际逻辑电路。

第3章~第6章讲解计算机组成的基本知识、简单的设计与应用技术,这些内容被划分为4个知识单元。

第3章的数据表示、运算和运算器部件,构成本书的第1个知识单元,主要围绕着计算机的运算器部件来进行讲解,前3节内容更多地涉及到信息编码知识、数据表示和运算算法,是设计与实现运算器部件的理论基础;中间2节的内容更多地讲解运算器部件的功能和组成,一些内容直接涉及到运算器部件的物理实现,给出一个运算器部件的实际例子是必要的。

第4章的指令、指令系统和控制器部件,构成本书的第2个知识单元,主要围绕着计

算机的控制器部件来进行讲解。前3节内容更多地涉及到指令系统设计和汇编语言程序设计的简单知识,是设计与实现控制器部件的出发点和基本依据;后3节的内容更多地讲解控制器部件的功能和组成,包括微程序控制器和硬连线控制器两大类,其中以微程序控制器为主,并以对比方式适当地介绍硬连线控制器的运行原理和基本组成。一些内容直接涉及到控制器部件的逻辑设计和物理实现,有必要给出适当的控制器部件的实际例子。

第5章的层次结构的存储器系统,构成本书的第3个知识单元,包括内(主)存储器、外(辅助)存储设备、高速缓冲存储器和虚拟存储器4部分内容,主要围绕着如何在计算机的存储器系统中存储和管理数据来进行讲解。首先对层次结构的存储器系统进行简单综述,说明其具有高的性能价格比的道理,层次之间需要满足的原则等。接下来的部分分别讲解主存储器的有关知识,并给出了由静态存储器芯片组成的一个主存储器的实际例子;讲解辅助存储设备(磁盘、光盘、磁带和磁盘阵列技术)的基本组成与运行原理;讲解高速缓冲存储器和虚拟存储器的基本组成和运行原理。

第6章的输入输出设备和输入输出系统,构成本书的第4个知识单元,主要围绕着计算机的输入和输出功能进行讲解。对于输入输出设备,重点围绕着常用的、以点阵方式运行的设备的基本组成和运行原理进行说明,重点是显示器和打印机设备。对于输入输出系统,重点介绍计算机系统中最常用的5种输入输出方式的操作过程和基本原理,计算机总线的构成,计算机中通用可编程接口线路的有关内容,给出了教学计算机实际的总线构成和使用串行接口芯片的具体例子。

选用本教材时,总的学时约为60~80学时。第3章到第6章是课程的主体部分,这4章的学时划分可以大体参照30%、30%、20%、20%的比例安排。

希望通过本教材,学生可以学到数字电路和逻辑设计的基本知识,可以从层次的观点,掌握计算机的组成和运行机制方面的基本知识,奠定必要的专业知识基础,为下一步的学习和提高未来业务工作水平做好准备,理解计算机系统中硬件、软件的功能划分和相互配合关系,能站在更高的层次上思考与解决工作中遇到的问题。

与本教材配套的有PowerPoint电子教案、硬件实现的教学计算机设备和软件模拟实现的相同功能的模拟系统以及相应的使用手册和教学实验指导书等。通过对教学计算机系统实例的学习和实验,能够加深对课堂教学内容的理解深度,并在一定程度上获得进行科学研究和开展计算机硬件系统设计的实际经验,全面提高解决实际问题和创新思维的能力。

本书的第1章~第5章由王诚教授编写,第6章由宋佳兴讲师编写。由于时间和作者水平所限,书中可能存在不足或不当之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2003年8月,于清华大学计算机科学与技术系

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 计算机系统的基本组成及其层次结构	1
1.2 计算机的体系结构、组成和实现	5
1.3 计算机系统发展进步与拓展应用的进程	7
本章小结	9
习题与思考题	10
第 2 章 数字电路基础和计算机中的逻辑部件	11
2.1 数字电路基础	11
2.1.1 半导体材料和晶体二极管简介	11
2.1.2 双极型三极管的结构及其伏安特性	12
2.1.3 MOS 管的结构及其伏安特性	14
2.2 基本逻辑门和布尔代数知识基础	15
2.2.1 最基本的逻辑门电路	15
2.2.2 布尔代数知识基础	17
2.3 组合逻辑电路及其应用	23
2.3.1 基本逻辑门	23
2.3.2 三态门电路	24
2.3.3 数据选择器	26
2.3.4 译码器和编码器	27
2.3.5 组合逻辑电路应用举例	29
2.4 时序逻辑电路及其应用	32
2.4.1 基本 R-S 触发器	32
2.4.2 D 型触发器与寄存器、计数器	33
2.4.3 时序逻辑电路应用举例	38
2.5 现场可编程器件及其应用	44
2.5.1 现场可编程器件概述	44
2.5.2 通用可编程器件 GAL20V8 的内部结构及编程使用	45
2.5.3 MACH 器件的内部结构与编程使用	47
2.5.4 FPGA 器件及其在实现 CPU 功能中的应用	52
2.6 几个专用功能器件和存储器芯片的引脚图	54
本章小结	54
习题与思考题	56

第 3 章 数据表示、运算和运算器部件	57
3.1 数字化信息编码的概念和二进制编码知识	57
3.1.1 数字化信息编码的概念	57
3.1.2 二进制编码和码制转换	58
3.1.3 检错纠错码	64
3.2 数据表示——常用的信息编码	68
3.2.1 逻辑类型数据的表示	68
3.2.2 字符类型数据的表示	68
3.2.3 数值类型数据的表示	70
3.3 二进制数值数据的编码与运算算法	76
3.3.1 原码、反码、补码的定义	76
3.3.2 补码加、减运算规则和电路实现	81
3.3.3 原码一位乘法、除法的实现方案	83
3.3.4 补码一位乘法、除法和加速乘除法运算的有关思路	87
3.4 运算器部件的组成与设计	92
3.4.1 运算器部件概述	92
3.4.2 定点运算器部件概述	93
3.4.3 位片结构的运算器芯片 Am2901	94
3.4.4 TEC-2000 教学计算机运算器的设计与实现	99
3.5 浮点运算与浮点运算器	105
3.5.1 浮点数的运算规则	105
3.5.2 浮点运算器举例	112
本章小结	115
习题与思考题	115
第 4 章 指令、指令系统和控制器部件	118
4.1 指令格式和指令系统概述	119
4.1.1 操作码的组织与编码	120
4.1.2 操作数的个数、来源、去向和地址安排	121
4.1.3 指令的分类	122
4.2 寻址方式概述与应用实例	124
4.2.1 基本寻址方式概述	124
4.2.2 寻址方式应用举例	127
4.3 指令系统和汇编语言程序设计举例	129
4.3.1 教学计算机的指令系统说明	129
4.3.2 教学计算机的汇编程序设计举例	135
4.3.3 Pentium II 机的指令系统	141

4.3.4	Ultra SPARC II 机的指令系统	142
4.4	控制器的功能、组成与指令执行步骤	145
4.4.1	控制器部件的功能、组成概述	145
4.4.2	指令的执行步骤概述	146
4.5	微程序控制器部件	150
4.5.1	微程序控制器的基本组成和工作原理	150
4.5.2	微程序设计中下地址形成逻辑的硬件技术	151
4.5.3	TEC-2000 教学计算机微程序控制器的组成、设计与实现	155
4.5.4	微程序控制器教学实验	171
4.6	硬连线控制器部件	171
4.6.1	硬连线控制器的组成和运行原理简介	172
4.6.2	TEC-2000 教学计算机硬连线控制器的组成、设计与实现	173
4.6.3	硬连线控制器教学实验	183
	本章小结	184
	习题与思考题	185
第 5 章	多级结构的存储器系统	187
5.1	三级结构的存储器系统概述	187
5.2	主存储器部件的组成与设计	189
5.2.1	主存储器概述	189
5.2.2	动态存储器的记忆原理和读写过程	190
5.2.3	静态存储器的存储原理和内部结构	193
5.2.4	提高主存储器系统性能的可行途径	194
5.2.5	教学计算机内存存储器实例	198
5.3	外存储器设备与磁盘阵列技术	202
5.3.1	外存设备概述	202
5.3.2	磁盘设备的组成与运行原理	205
5.3.3	磁带机设备组成简介	210
5.3.4	光盘设备的组成与运行原理	212
5.3.5	磁盘阵列技术与容错支持	213
5.4	高速缓冲存储器	216
5.4.1	高速缓冲存储器的运行原理	217
5.4.2	高速缓冲存储器的 3 种映像方式	218
5.4.3	高速缓冲存储器实用中的几个问题	220
5.5	虚拟存储器部件	224
5.5.1	虚拟存储器的概念	224
5.5.2	段式存储管理	224
5.5.3	页式存储管理	226

本章小结	228
习题与思考题	228
第 6 章 输入输出设备与输入输出系统	231
6.1 输入输出设备概述	232
6.1.1 输入输出设备	232
6.1.2 点阵式设备运行原理综述	232
6.2 显示器设备的组成和运行原理	234
6.2.1 显示器设备概述	234
6.2.2 阴极射线管的组成和运行原理	235
6.2.3 CRT 字符显示器的组成和运行原理	236
6.2.4 CRT 图形显示器	238
6.2.5 计算机终端	239
6.2.6 液晶显示器的组成和运行原理	240
6.3 打印机设备的组成与运行原理	240
6.3.1 针式打印机的组成和打印过程	241
6.3.2 喷墨打印机的组成和印字过程	242
6.3.3 激光打印机的组成和印字过程	244
6.4 计算机的输入设备	245
6.4.1 计算机键盘的组成和运行原理	245
6.4.2 鼠标设备	246
6.5 计算机输入输出系统概述	247
6.6 计算机总线	248
6.6.1 计算机总线概述	248
6.6.2 计算机总线构成	249
6.6.3 总线仲裁和数据传输控制	250
6.6.4 教学计算机的总线系统实例	251
6.7 输入输出接口概述	254
6.7.1 输入输出接口的基本功能	254
6.7.2 通用可编程接口的一般组成	255
6.7.3 串行接口实例	255
6.8 常用的输入输出方式	261
6.8.1 常用的输入输出方式概述	261
6.8.2 中断的概念和中断处理过程	262
6.8.3 DMA 的概念和 DMA 处理过程	266
本章小结	268
习题与思考题	269

附录 A	TEC-2000 教学计算机的总体框图与功能部件逻辑图	271
附录 B	新旧逻辑电路图形符号对照表	278
附录 C	国内外电气图形符号对照表	279
参考文献	282

第 1 章 概 述

本章首先介绍计算机系统的基本组成及其层次结构,使读者从层次的观点初步认识完整计算机的基本组成。接下来对计算机硬件子系统的 3 部分知识,即计算机的体系结构、计算机组成和计算机实现进行说明,指明它们之间的联系与区别,帮助读者把握学习本门课程的主脉络。然后是计算机的发展进步和推广应用的历程,扼要地介绍某些基本概念和常用术语,帮助读者从系统和部件、硬件和软件、知识和能力等多种对应关系的角度提高自己的学习质量。

1.1 计算机系统的基本组成及其层次结构

1. 从完成功能角度来分析

计算机系统的含义是什么?这可以从它所完成的功能和相应的组成两个方面来回答。从它所完成的功能的角度看,计算机系统能够完成原始数据的输入、存储以及对数据的运算和处理、把计算处理的结果输出 4 项操作功能。因此,计算机的硬件系统至少需要由下述几个相互连接在一起的部件和设备组成,如图 1.1 所示。

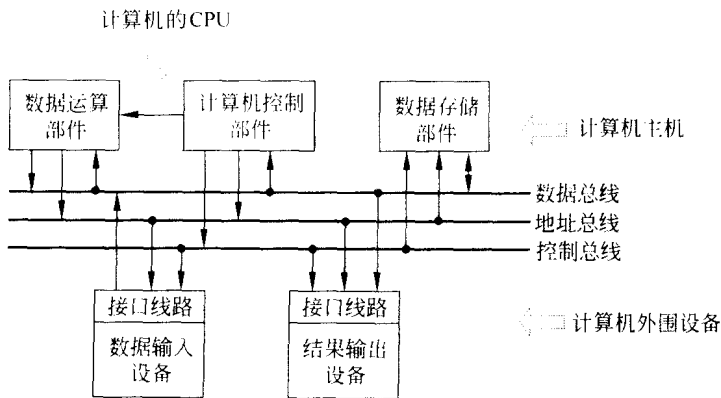


图 1.1 计算机硬件系统的组成示意图

从组成的角度来看,图 1.1 中的 5 个方框图所给出的,正是计算机硬件系统的 5 个基本组成部分,各个组成部分所分担的功能,通过方框中的文字说明已经表示清楚。例如,数据输入设备完成对原始数据的输入功能,数据存储部件完成对数据的存储功能,数据运算部件完成对数据的运算处理功能,结果输出设备完成对运算处理结果的输出功能,而计算机控制部件的功能则是向各个部件或设备提供它们协调运行所需要的控制信号。

如果把计算机想象成一个加工处理数据的“工厂”,数据运算部件就是产品加工车间,数据存储部件就是存放原材料、半成品和最终产品的库房,输入设备相当于运入原材料的

运货卡车,输出设备相当于发出最终产品的运货卡车,控制部件则相当于承担领导指挥功能的厂长和各个职能办公室。在“领导”的正确指挥下,如果能够源源不断地取得原材料,工厂内又有存放的场所,车间能够对这些原材料进行指定的加工处理,加工后的产品可以畅通地运出去销售,则这个工厂(计算机)就可纳入正常运行的轨道。

图 1.1 上方为部件的 3 个组成部分,通常是通过电子线路实现的,安装在一个金属机柜内或者印制电路板上,被称为计算机的主机。左边的数据运算部件和计算机控制部件合称为中央处理器(central processing unit,CPU),又称为计算机的处理机(processor)。

图 1.1 下方为设备的两个组成部分,通常是使用精密机械装置和电子线路共同制作出来的,合称为输入输出设备,又称为计算机的外围设备。

图 1.1 中部为计算机的 3 种类型的总线,分别是数据总线,用于在这些部件或设备之间传送属于数据信息(指令和数据)的电气信号;地址总线,用于在这些部件或设备之间传送属于地址信息的电气信号,以选择数据存储部件中的一个存储单元,或者外围设备中的一个设备;控制总线,用于向存储部件和外围设备传送起控制作用的电气信号,也就是指定在 CPU 和这些部件或者设备之间数据传送的方向以及操作的性质(比如是读操作还是写操作)等。可以看到,计算机的 5 个组成部分正是通过这 3 种类型的总线有机地连接在一起,从而构成一台完整的、可以协调运行(执行程序)的计算机硬件系统。

在早期的计算机中,普遍的体系结构是由冯·诺依曼提出来的被称为存储程序的计算机,计算机的几个部件是围绕着运算器部件来组织的,如图 1.2(a)所示,其特点是在存储器和输入输出设备之间通过运算器来传送数据。在当前流行的计算机中,更常用的方案则是围绕着存储器部件来组织的,如图 1.2(b)所示。(b)方案和(a)方案相比,并无实质性的区别,它仍然是冯·诺依曼结构的计算机系统,只是在一些小的方面,后者对前一种方案做了部分改进。

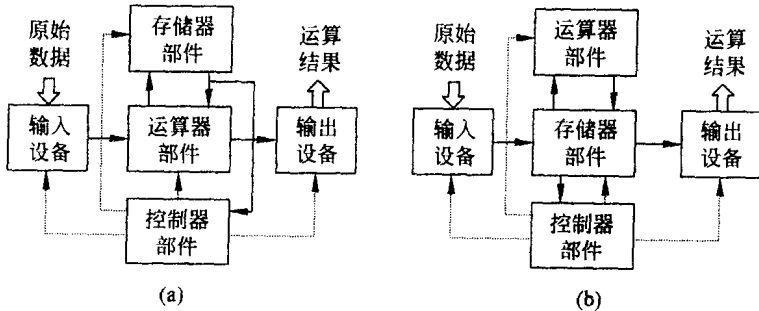


图 1.2 计算机的组成结构

上面说到的还只限于“工厂的硬件”组成,也就是人员和厂房设备等,仅有这些,工厂还是运转不起来,至少是很难运行。要成功运转,还需要有一系列的规章制度、管理策略和办法等“软件”部分。计算机系统也一样,在硬件组成的基础之上,还必须有它的软件部分。其理由主要有以下 3 个方面。

(1) 计算机要有语言支持功能。计算机是由人指挥控制,供人来使用的。使用计算机的人员要把自己的意图告诉给计算机,为完成这种“对话”,就需要使用某种语言。遗憾

的是,计算机还不能(至少目前尚不能低成本地实现)听懂人类的自然语言,更无法执行人类自然语言的命令。最简单的解决办法就是,让计算机使用它的硬件可以直接识别、理解的,用电子线路容易处理的一种语言,这就是计算机的机器语言,又称为二进制代码语言。由此可以看出,计算机的基础硬件是在机器语言的层次上设计与实现的,它可以直接执行的只能是由机器语言构成的指令,一台计算机的全部指令构成该计算机的指令系统。这样做的结果是,计算机一方的矛盾解决了,但是使用计算机的人员却很难接受并使用这种语言。为此,必须找出一种折中方案,做到人员使用和计算机处理都更容易一些,这就是汇编语言、高级程序设计语言和各种专用目的的语言。

(2) 计算机软件能为计算机系统本身提供良好的资源管理功能,为使用人员提供尽可能多的帮助。一套计算机系统,包含了大量的、高价的、管理和使用相当复杂的硬件资源和软件资源,不仅一般水平的使用人员,就是水平很高的专业人员都难以直接控制和操作,还是把资源管理和调度功能留给计算机系统本身来完成更可靠,完成这一功能的软件就是计算机的操作系统。操作系统的存在,又为使用计算机的用户提供了许多支持,它与程序设计语言相结合,使得程序设计更简化,建立用户的应用程序和操作计算机更方便。

(3) 众多用户通常遇到的许多操作处理功能,要求在操作系统软件之上,选用适当的软件实现,例如文字处理软件、数据库软件、网络软件、多媒体信息处理软件、办公自动化软件等。

综上所述,计算机系统是由硬件和软件两大部分(两类资源)组成的。

2. 从硬件组成角度来分析

从硬件组成(从看得见、摸得着的物质的层面理解)的角度来看,计算机硬件系统是一种高度复杂的由多种电子线路、精密机械装置等构成的能自动并且高速完成数据计算的装置或者工具。若进一步深入分析,在按照五大组成部分理解计算机硬件的同时,还可以从计算机硬件设计和实现所涉及的知识面之间的关系,依照如下的层次观点(计算机系统是由多个不同层次的内容组成的)来认识计算机硬件系统的组成。

第1个层次,是数字逻辑层。现在的计算机,通常说的都是电子数字计算机,作为计算机一词的定语,“电子”一词指明的是实现计算机的最重要的物质材料是电子线路,“数字”一词指所用的电路是数字逻辑电路,直接处理的是离散的数字信息。设计计算机硬件的最基础的知识就是数字逻辑和数字门电路,其解决的基本问题是,使用何种线路和如何存储信息,使用何种线路和如何传送信息,使用何种线路和如何运算与加工信息等。

第2个层次,是微体系结构层。前面已经说过,计算机最核心、本质的功能是执行程序,程序是按一定规则和顺序组织起来的指令序列。第2个层次体现的是,为了执行指令,需要在计算机中设置哪些功能部件(例如存储、运算、输入和输出、接口和总线等部件,当然还有更复杂一点的控制器部件),每个部件又如何具体组成和怎样运行,这些部件如何实现相互连接并协同工作等方面的知识和技术。这是本教材的重点,也是难点内容。

第3个层次,是指令系统层。这涉及需要确定使用哪些指令,指令能够处理的数据类型以及数据运算所用的算法,每一条指令的格式和完成的功能,如何指出想要对数据执行

读操作或者写操作的存储器的一个存储单元,如何指出想要执行输入或者输出操作的一个外围设备。一台计算机的指令系统,对计算机厂家和用户来说,都是很重要的,需要非常认真地分析和对待。

前面说明的 3 个层次的问题,原则上都应该划分到计算机硬件的范围内,其中指令系统是计算机硬件系统设计、实现的最基本和最重要的依据,它与计算机硬件实现的复杂程度、设计程序的难易程度、程序占用硬件资源的多少、程序运行的效率等都直接相关。当然,指令系统与计算机软件的关系也十分密切,在计算机内部,全部的软件最终都是由指令系统所提供的指令代码组成的。

3. 从软件组成角度来分析

从软件组成(从程序和数据这些非物质的层面理解)的角度来看,计算机软件系统由完成计算机资源管理、方便用户使用的软件(系统软件,厂家提供)和完成用户对数据的预期处理功能(用户设计,自己使用)的程序两大部分构成。在一个完整的计算机系统中,软件系统是建立在硬件系统层次之上的部分,一是因为它的存在是以已有硬件系统为前提,二是因为它必须在已有硬件上才能运行。计算机软件也可以划分为以下几个不同的层次。

(1) 建立在硬件之上的第 1 层软件,是操作系统层。它主要承担计算机系统资源管理与分配,也向使用者和程序设计人员提供简单、方便、高效的服务。它是用(直接或者间接)计算机硬件指令系统所提供的指令设计出来的程序,把一些常用功能以操作命令或者系统调用的方式提供给使用人员。就此而言,也可以说操作系统进一步扩展了原来的指令系统,提供了新的可用指令(命令),从而构成一台比纯硬件系统功能更加强大的计算机系统。

(2) 建立在操作系统之上的是计算机的汇编语言层。汇编语言大体上是对计算机机器语言的符号化处理的结果,再增加一些为方便程序设计而实现的扩展功能。机器语言是计算机硬件能够直接识别和运行的指令的集合,但程序设计人员难以接受,直接用机器指令设计程序实在是太困难了。与机器语言相比,汇编语言至少有两大优点:首先实现用英文单词或其缩写形式替代二进制的指令代码,更容易为人们记忆和理解;其次是可以选用含义明确的英文单词来表示程序中用到的数据(常量和变量),避免程序设计人员亲自费力地为这些数据分配存储单元(留给汇编程序自己去安排),这样它就体现了语言最实用的基本标准。如果在此基础上,再对程序的不同结构特性(如循环和重复执行等结构)、子程序所用哑变元替换真实参数等方面提供必要的支持,使用这个语言设计程序就更为方便。因此说,汇编语言是面向计算机硬件本身的、程序设计人员可以使用的一种计算机语言。汇编语言的程序必须经过一个叫做汇编程序的系统软件的翻译,将其转换为计算机的机器语言后,才能在计算机的硬件系统上予以执行。

(3) 在汇编语言层次之上,是高级语言层,高级语言又称算法语言,它的实现思路不再是过分地“靠拢”计算机硬件的指令系统,而是着重面向解决实际问题所用的算法,更多的是为方便程序设计人员写出自己解决问题的处理方案和解题过程的程序。目前常用的高级语言有 BASIC、C、C++、PASCAL、Java、Prolog 等几百种。用这些语言设计出来的

程序,通常需要经过一个叫做编译程序的软件编译成机器语言程序,或者首先编译成汇编程序,再经过汇编操作得到机器语言程序,才能在计算机的硬件系统上予以执行;也可以由一种叫做解释执行程序的软件,逐条取来相应高级语言程序的每个语句并直接控制其完成执行过程,而不是把整个程序编译为机器语言程序之后再交给硬件系统加以执行,解释执行程序的最大缺点是运行效率比较低。

(4) 在高级语言层之上,还可以有应用层,它由解决实际问题的处理程序组成,但这些内容已经超出了本书的讨论范围,不在这里赘述。

图 1.3 给出了计算机系统的 7 层结构。在不同层次之间的关系表现为以下几个方面。

- 上面一层的实现是建立在下面一层基础上的,实现的功能更强大,也就是说,更接近于人类解决问题的思维方式和处理问题的具体过程,对使用人员更方便。使用这一层提供的功能时,不必关心下一层的实现细节。

- 下面一层是实现上面一层的基础,更接近计算机硬件实现的细节,实现的功能相对简单,人们使用这些功能会感到更困难。在实现这一层的功能时,可能尚无法了解其上面一层的最终目标和将要解决的问题,也不必理解其更下面一层实现中的有关细节问题,只要使用下面一层所提供的功能来完成本层次的功能处理即可。

- 采用这种分层次的方法来分析 and 解决某些问题,有利于简化处理问题的难度,在某一段时间,在处理某一层中的问题时,只需要集中精力解决当前最需要关心的核心问题,而不必牵扯上下层中的其他问题。

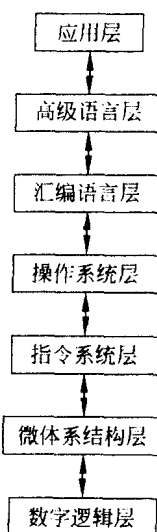


图 1.3 计算机系统的层次结构

1.2 计算机的体系结构、组成和实现

1. 计算机的体系结构

计算机的体系结构(computer architecture),通常是指涉及机器语言或者汇编语言的程序设计人员所见到的计算机系统的属性,更多情况下是指计算机的外特性,是硬件子系统的结构概念及其功能特性。这其中最重要的问题都直接和计算机的指令系统有关,例如计算机的字长,计算机硬件能够直接识别和处理的数据类型及其表示、存储、读写方式,指令系统的组成,指令类别、格式和功能,指令中使用的寄存器数量和表示方法,支持的寻址方式,存储器、输入输出设备和 CPU 之间数据传送的方式和控制,以及中断的类型和处理流程,系统中对各类信息的保护,计算机的运行状态的定义和切换,对各种运行异常或者出错的检测和处理方案等,这些都是程序设计人员编写出高质量程序,并确保其正常运行必须深入了解的计算机的属性。计算机体系结构主要研究硬件和软件功能的划分,确定硬件和软件的界面,即哪些功能应由硬件子系统完成,哪些功能应由软件子系统完成。