



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

宋佳兴 王诚 编著

计算机组成与体系结构(第3版)

——基本原理、设计与工程实现

<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 CS *Computing Curricula* 最新进展同步
- 国家精品课程教材



清华大学出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

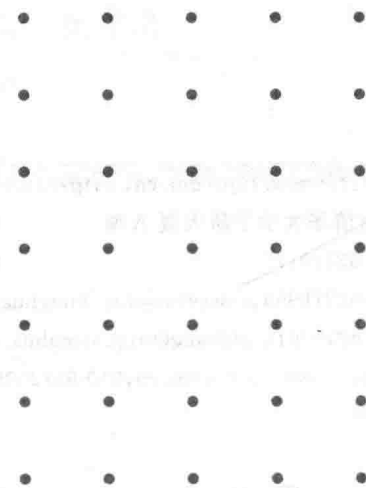
21世纪大学本科计算机专业系列教材

国家精品课程教材

计算机组成与体系结构(第3版)

——基本原理、设计技术与工程实现

宋佳兴 王诚 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书包括数字电路基础(先修部分)、计算机组成(主体部分)、计算机体系结构(提高部分)3部分内容,共13章,重点讲解计算机系统的完整组成和提高性能的可行途径。作为硬件课程教材,兼顾到计算机科学与技术专业中偏工程技术方向、偏软件方向的本科生,也可用于软件学院和计算机应用方向的学生。

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

计算机组成与体系结构:基本原理、设计技术与工程实现/宋佳兴,王诚编著.—3版.—北京:清华大学出版社,2017

(21世纪大学本科计算机专业系列教材)

ISBN 978-7-302-46554-6

I. ①计… II. ①宋… ②王… III. ①计算机体系结构—高等学校—教材 IV. ①TP303

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 030105 号

责任编辑:张瑞庆 薛 阳

封面设计:常雪影

责任校对:梁 毅

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 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

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京泽宇印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:20.75

字 数:504千字

版 次:2004年1月第1版 2017年7月第3版

印 次:2017年7月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:49.00元

产品编号:071041-01

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：(按姓氏笔画排序)

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

前言

FOREWORD

对这一版的书名做了一点变动,增加了“基本原理、设计技术与工程实现”的副标题,特意指出书中提供3类不同性质的教学内容。第一类是计算机组成原理与运行机制的核心知识,属于学生一定要掌握的原理性基础知识,在绝大多数的同类教材中都会重点讲解。第二类是计算机硬件系统的基本设计技术,多数同类教材中讲解不多也欠具体应用实例。第三类是计算机硬件系统的入门性工程实现问题,同类教材中较少涉及,我们希望在这一版的教材中对上述3类内容都有适度的讲解,其中的工程实现问题只在主教材中简单提及,主要部分将放到《计算机组成与体系结构实验指导》教材中。这种安排体现了作者多年坚守的教学理念,从如下3个方面予以说明。

(1) 针对计算机组成原理这一类含有较多技术性、工程性、实践性内容的课程,教学安排不宜过分局限于教师课堂讲课、学生课上听讲和课后背书的学习方式,应该在讲课听课的基础上再较大幅度地加强教学实践环节,增强课程内容的实用性,促成学生用课堂学到的理论知识,设计实现一台组成简单完整、原理清晰实用、实验操作方便、支持汇编语言编程的微小计算机系统,促使学生在学习理论知识、掌握设计技术、提升实践能力等诸方面得到全面成长。

(2) 在讲解计算机硬件系统组成和功能实现时,应该把口语性的一般讲解和硬件描述语言的严谨描述恰当地结合起来,鼓励选用硬件描述语言设计计算机控制器和描述整机系统,既能体现计算机的最新设计技术和实现手段,保证教学内容适度的先进性,又可以培养学生严谨的思维方式和对硬件问题的深入理解和准确阐述,这有利于提高授课质量,降低学习和实验的难度。

(3) 在课程的教学安排中,需要处理好硬件子系统(重点部分)和软件子系统(配合部分)的关系,不能完全局限于硬件系统本身,还需要包含必要的软件内容,汇编语言程序设计应该占有一定分量,加深对硬、软件两类资源各自在计算机系统中的地位 and 作用的理解。指令系统是连接硬、软件系统的纽带,汇编语言编程有助于深入了解指令系统、计算机整机组成与运行控制机制。因此在教学计算机系统中配备了3个基本程序:PC仿真终端程序、交叉汇编程序、监控程序,对多数同学来说做到会使用它们就够了,鼓励有余力的同学探索这几个程序的实现思路和方法。

本书包括了数字电路基础、计算机组成、计算机体系结构3部分内容,共13章。

第1章是全书内容的概述部分,简要介绍计算机组成和体系结构的基本概念,从实现功能的角度介绍计算机硬件系统的5个功能部件;从功能和层次的观点来讲解计算机组成和

体系结构各自需要研究和解决的问题,并简要说明了本课程的教学目标和对学习方法的建议。

第2章简明讲解数字电路基础知识和几种常用的电路芯片,是为讲解计算机组成和体系结构做电子线路方面的准备,没有这些知识是很难学懂计算机硬件的组成和运行原理的。

第3章的数据表示和运算、第4章的运算器部件共同构成本书核心内容的第1个知识单元,主要围绕承担数据运算功能的运算器部件进行讲解,在给出通用的基本原理知识的同时,还提供了设计实现一个原理性的8位运算器模型和一个4位位片结构的运算器芯片两个实例,展现运算器部件的设计过程和实现方法,提升学生的实践能力。

第5章的指令系统和第6章的控制器部件共同构成本书核心内容的第2个知识单元,主要围绕指令格式选择、指令系统设计,以及硬件系统中的硬布线方案的控制器部件进行讲解,而对微程序方案控制器只作适当介绍。在给出通用的基本原理知识的同时,提供了一套简单实用的基本指令系统。硬件方面,选用多指令周期方案实现这套指令系统的控制器部件的具体例子,展现控制器部件的设计过程和实现方法,提升学生的实践能力。软件方面,使用这套指令系统设计了教学机的监控程序,可以支持汇编语言程序设计;若再扩展一部分指令,也可以支持解释执行的BASIC高级语言程序设计,能支持浮点数运算和多种基本数学函数运算。针对这门课程的教学要求来说,此时的教学机的硬软件系统已经比较完整,包括了计算机硬件软件系统全部6个层次的基本内容。

第7章的主存、第8章的高速缓存和虚存、第9章的辅助存储器设备共同构成本书核心内容的第3个知识单元,主要围绕计算机3级结构的存储器件系统和外存储器设备进行讲解,还给出了通过字、位扩展技术,用静态芯片构建内存存储部件的具体例子,支持存储器与CPU同步运行,展现内存存储器的功能和经总线连接CPU的具体方法。

第10章的输入输出设备和第11章的输入输出系统共同构成本书核心内容的第4个知识单元,主要围绕承担计算机的输入输出功能的设备或者部件进行讲解,给出了用于连接计算机各个部件的单总线结构的实际例子,具体介绍了串行接口的内部线路组成和使用方法,并通过串口连接PC仿真终端,选用程序查询方式控制入出设备,使教学机整机系统具备了输入输出操作功能。

第12章的流水线技术和第13章的并行计算机体系结构共同构成本书核心内容的第5个知识单元,对应计算机体系结构课程的基础知识,针对提高计算机系统的性能,更多地强调基本概念、提出问题的思路和解决问题的方案,基本上止步于定性说明。

教学过程中,可以根据不同的课程安排和教学要求,合理分配教材中3部分内容的课时比例。针对把计算机组成和系统结构合并成一门课程的安排,教材第3~13章的内容都属于必学知识,建议教学学时安排为70~90。若只是用于计算机组成原理课程,计算机体系结构的内容另外开课,则只需讲解第3~11章中的知识,建议课内学时安排为60~70,另外安排约16个实验学时。

第2章用于复习先修课程的内容,简明介绍数字电路与逻辑设计知识,约占教材总篇幅的7%,是学习计算机组成和体系结构一定会用到的电路基础知识,也许要求并不太多也不深,但如果完全不了解这些内容,要听懂课堂授课内容难度很大,设计实现一个小计算机系统更无从谈起。

第1章、第3~11章是课程的主体部分,约占教材总篇幅的73%,主要是计算机组成方

面较为完整的系统知识,重点围绕基本计算机硬件系统 5 个功能部件的功能和组成进行分析讲解。

第 12 章和第 13 章是本课程的提高部分,约占教材总篇幅的 20%,主要是计算机体系结构方面的基础知识,重点介绍提高计算机系统性能的各种可行思路与基本途径。

在教学环节安排中,需要处理好理论教学和教学实验的关系,可以考虑(并非一定如此)用约四分之三的课内学时(例如 48 学时)讲授计算机组成与运行机制的核心知识,四分之一的课内学时中的一小部分(例如 6 学时)用于讲解构建整机系统用到的设计技术和工程实现问题。剩余的部分(例如 10 学时)和 16 个实验学时统一安排用于教学实验,在教师的指导下去完成设计实现小计算机硬件系统的核心工作,更好地贯彻理论指导实践,通过实践再进一步深入理解理论的认知过程,做到学习知识和增长能力的双丰收。

本教材配套的有:①内容详尽的教学实验指导教材;②教学实验设备(由清华大学科教仪器厂生产销售,型号是 TEC-XP-II),选用教材第 1~4 个知识单元的部件实例组合而成,能够确保课堂授课内容和教学实验项目完美的结合;③PowerPoint 教学课件;④指令级软件模拟系统,可以直接在 PC 系统中运行,实现了与硬件设备相同的运行功能。良好的教学实践环境和实验条件,可以有效地加深对课堂教学内容的理解,并使得学生在一定程度上获得开展研究工作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 1~3 章、第 7~13 章由宋佳兴修订,第 4~6 章由王诚修订,作者有多年从事本专业教学和科研工作的经历。

由于时间和作者水平所限,加上时间仓促,书中难免存在不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

2016 年 6 月于清华大学计算机科学与技术系

目 录

CONTENTS

第 1 章 计算机系统概述	1
1.1 计算机系统的基本组成及其层次结构	1
1.2 计算机硬件的 5 个功能部件及其功能	4
1.3 计算机系统主要的技术与性能指标	7
1.4 计算机的体系结构、组成和实现概述	9
1.5 计算机发展进步、分类和拓展应用的进程	12
本章内容小结和学习方法建议	15
习题与思考题	15
第 2 章 数字电路基础和常用器件	17
2.1 数字电路的基本元件	17
2.1.1 晶体二极管与三极管	17
2.1.2 应用案例	19
2.2 数字电路基础及其相关处理方法	20
2.2.1 3 种基本逻辑关系	20
2.2.2 逻辑函数及其描述方法	23
2.2.3 逻辑函数的特性、规则与应用	24
2.3 组合逻辑电路及时序逻辑电路	25
2.3.1 常用逻辑门器件	26
2.3.2 时序逻辑电路	29
2.3.3 存储器芯片简介	31
2.3.4 几个专用功能器件和存储器芯片的引脚图	32
2.4 现场可编程逻辑器件及其应用	34
2.4.1 现场可编程器件概述	34
2.4.2 CPLD 和 FPGA 的编程与应用	37
本章内容小结和学习方法建议	37
习题与思考题	37

第3章 数据表示、运算算法和线路实现	39
3.1 数字化信息编码的概念和二进制编码知识	39
3.1.1 数字化信息编码的概念	39
3.1.2 二进制编码和码制转换	40
3.1.3 检错纠错码	45
3.2 数据表示	50
3.2.1 逻辑类型数据的表示	50
3.2.2 字符类型数据的表示	50
3.2.3 多媒体信息编码	53
3.2.4 数值类型数据的表示	55
3.3 二进制数值数据的编码方案与运算算法	60
3.3.1 原码、反码、补码的定义	60
3.3.2 补码加、减运算规则和电路实现	65
3.3.3 原码一位乘法、除法的实现方案	66
3.3.4 实现乘法、除法的其他方案	71
本章内容小结和学习方法建议	76
习题与思考题	77
第4章 运算器部件	79
4.1 算术逻辑运算单元的功能设计与线路实现	79
4.2 定点运算器	81
4.2.1 定点运算器部件的功能、组成与控制概述	81
4.2.2 设计实现一个简单的原理性8位运算器模型	82
4.2.3 运算器芯片 Am2901 实例与使用	86
4.2.4 MIPS 多指令周期 CPU 系统的运算器的组成及其功能	90
4.3 浮点运算和浮点运算器	92
4.3.1 浮点数的运算规则	92
4.3.2 浮点运算器举例	96
本章内容小结和学习方法建议	98
习题与思考题	99
第5章 指令系统和汇编语言程序设计	102
5.1 指令格式和指令系统概述	102
5.1.1 指令的定义和指令格式	102
5.1.2 操作码的组织与编码	103
5.1.3 有关操作数的类型、个数、来源、去向和地址安排	104
5.1.4 指令的分类	105
5.1.5 指令周期及其对计算机性能和硬件结构的影响	106

5.2	基本寻址方式概述	108
5.3	指令系统举例	111
5.3.1	Pentium II 计算机的指令系统	111
5.3.2	MIPS32 计算机的指令系统	113
5.3.3	PDP-11 计算机的指令系统	114
5.3.4	教学计算机的指令系统	116
5.4	教学计算机的汇编语言程序设计	120
5.4.1	汇编语言及其程序设计中的有关概念	120
5.4.2	教学计算机的汇编程序设计举例	121
	本章内容小结和学习方法建议	127
	习题与思考题	127
第 6 章	控制器部件	130
6.1	控制器的功能与组成概述	130
6.2	硬布线控制器	132
6.2.1	硬布线控制器的组成和运行原理简介	132
6.2.2	MIPS32 计算机的控制器简介	133
6.2.3	TEC_XP_II 教学计算机的硬布线控制器的设计与实现	139
6.3	微程序控制器部件	149
6.3.1	微程序控制器的基本组成和运行原理	150
6.3.2	微程序设计中的下地址形成逻辑和微程序设计	152
6.3.3	TEC-XP-II 教学计算机的微程序控制器的设计与实现	155
	本章内容小结和学习方法建议	161
	习题与思考题	162
第 7 章	多级结构存储器系统和主存储器	166
7.1	存储器系统概述	166
7.1.1	存储器分类	166
7.1.2	存储器系统目标	167
7.1.3	多级结构存储器系统	169
7.2	主存储器	170
7.2.1	主存储器概述	170
7.2.2	动态存储器的存储原理	172
7.2.3	静态存储器的存储原理	173
7.2.4	存储器容量扩展	174
7.3	教学计算机的主存储器实例	176
7.4	提高主存储器性能的途径	179
	本章内容小结和学习方法建议	181
	习题与思考题	181

第8章 高速缓冲存储器和虚拟存储器	183
8.1 高速缓冲存储器	183
8.1.1 Cache 的运行原理	183
8.1.2 Cache 的3种映像方式	185
8.1.3 Cache 实用中的问题	187
8.2 虚拟存储器	190
8.2.1 虚拟存储器的概念介绍	190
8.2.2 段式存储管理	190
8.2.3 页式存储管理	191
本章内容小结和学习方法建议	193
习题与思考题	193
第9章 外部存储器设备	196
9.1 外存设备概述	196
9.1.1 主要技术指标	196
9.1.2 磁记录原理与记录方式	197
9.2 磁盘设备	199
9.2.1 磁记录介质	199
9.2.2 磁盘驱动器	200
9.2.3 磁盘控制器	201
9.3 磁盘阵列	202
9.4 光盘设备	205
9.4.1 只读光盘	205
9.4.2 可刻光盘	206
9.4.3 可擦写光盘	208
9.4.4 DVD	208
9.4.5 Blu-Ray	209
本章内容小结和学习方法建议	209
习题与思考题	209
第10章 输入输出设备	210
10.1 输入输出设备概述	210
10.2 常用的输入设备	211
10.3 常用的输出设备	212
10.3.1 点阵式输出设备基本原理	212
10.3.2 显示器的组成和运行原理	214
10.3.3 打印机的组成和运行原理	217
10.3.4 计算机终端	221

本章内容小结和学习方法建议	221
习题与思考题	222
第 11 章 输入输出系统	223
11.1 计算机输入输出系统概述	223
11.2 计算机总线	224
11.2.1 总线概述	224
11.2.2 总线结构	226
11.2.3 总线宽度	227
11.2.4 总线时钟	228
11.2.5 总线仲裁	230
11.2.6 总线举例	232
11.3 输入输出接口	238
11.3.1 输入输出接口的功能	238
11.3.2 通用可编程接口组成	239
11.3.3 输入输出接口举例	239
11.4 输入输出方式	242
11.4.1 程序直接控制方式	242
11.4.2 程序中断传送方式	243
11.4.3 直接存储器访问方式	245
11.4.4 I/O 通道控制方式	247
11.4.5 外围处理机方式	247
本章内容小结和学习方法建议	247
习题与思考题	248
第 12 章 流水线技术	250
12.1 流水线的基本概念	250
12.1.1 流水线的概念	250
12.1.2 流水线的表示方法	252
12.1.3 流水线的特点	253
12.1.4 流水线的分类方法	254
12.2 流水线的性能指标	257
12.2.1 流水线的吞吐率	257
12.2.2 流水线的加速比	260
12.2.3 流水线的效率	260
12.2.4 流水线的最佳段数	261
12.3 DLX 指令集与 DLX 流水线	261
12.3.1 DLX 指令集结构介绍	261
12.3.2 DLX 的一种简单实现	266

12.3.3	DLX 流水线的实现原理	268
12.4	流水线中的相关问题	271
12.4.1	结构相关	271
12.4.2	数据相关	273
12.4.3	控制相关	279
12.5	指令级并行技术	284
12.5.1	基本概念	284
12.5.2	多指令发射技术	284
	本章内容小结和学习方法建议	287
	习题与思考题	288
第 13 章	并行计算机体系结构	289
13.1	计算机体系结构概述	289
13.1.1	计算机体系结构的发展	289
13.1.2	计算机体系结构的分类	290
13.1.3	并行计算机体系结构分类	292
13.2	并行计算机系统的设计问题	293
13.2.1	并行计算机系统的互连网络	293
13.2.2	并行计算机系统的性能问题	298
13.2.3	并行计算机系统的软件问题	300
13.3	SIMD 计算机简介	301
13.3.1	阵列处理机	301
13.3.2	向量处理机	302
13.4	共享内存的多处理机系统	304
13.4.1	一致性内存访问的 UMA 多处理机系统	305
13.4.2	非一致性内存访问的 NUMA 多处理机系统	310
13.4.3	基于 Cache 内存访问的 COMA 多处理机系统	312
13.5	基于消息传递的多计算机系统	312
13.5.1	大规模并行处理机	314
13.5.2	工作站集群	315
	本章内容小结和学习方法建议	315
	习题与思考题	316
	参考文献	317

第 1 章

计算机系统概述

本章首先介绍计算机系统的基本组成和它的层次结构,使读者从层次的观点,初步认识完整计算机系统硬件与软件的基本组成,重点集中到计算机硬件的 5 个功能部件各自分担的功能及其相互的连接关系。接下来初步讨论计算机系统主要的性能和技术指标。之后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。最后是计算机的发展过程,计算机系统的分类和推广应用的状况。

本章作为学习计算机组成原理和体系结构课程的引导性的提纲,介绍了计算机系统某些基本概念和常用术语,希望读者能够从硬件和软件、整机和部件、知识和能力等多种对应关系的角度来提高自己的学习效率。

1.1 计算机系统的基本组成及其层次结构

计算机系统(Computer System)是指电子数字通用计算机系统,3 个定语各自表明了计算机系统的一个方面的特性。“电子”一词表明使用电子线路(不同于机械、继电器等)来实现计算机硬件的关键逻辑功能;“数字”一词表明使用的电子线路是数字式电路(不同于模拟电路),运算和处理的数据是二进制的离散数据(不同于连续的电压或者电流);“通用”一词表明计算机本身的功能多样性(不是专用于某种特定功能),具有完成各种运算或事物处理的能力。

完整的计算机系统由硬件(Hardware)和软件(Software)两大部分(两类资源)组成。计算机的硬件系统是计算机系统中看得见、摸得着的物理设备,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、能自动并且高速地完成数据计算与处理的装置或者工具。计算机的软件系统是计算机系统程序和相关数据,包括完成计算机资源管理、方便用户使用的系统软件(厂家提供)和完成用户对数据的预期处理功能的用户软件(用户设计并自己使用)这样两大部分。软硬件二者相互依存,分工互动,缺一不可,硬件是计算机系统中保存与运行软件程序的物质基础,软件则是指挥硬件完成预期功能的智力部分,正如同一个健全和健康的人一样,必须同时具备物质性的肉体和精神性的智力与思维。

若进一步深入分析,还可以通过 6 个层次来认识计算机硬件和软件系统的组成关系,如图 1.1 所示。最下面的 2 层属于硬件内容,最上面的 3 层属于软件内容,中间的指令系统层

连接硬件和软件两部分,与两部分都有密切关系。

从图 1.1 中可以看出,计算机系统具有 6 层结构。在不同层次之间的关系表现为以下两个方面。

(1) 处在上面的一层是在下一层的基础上实现出来的,它实现的功能更强大,也就是说,更接近人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,不必关心其下一层的实现细节。

(2) 处在下面的一层是实现上一层的基础,更接近计算机硬件实现的细节,它实现的功能相对简单,人们使用这些功能更感到困难。在实现这一层的功能时,可能尚无法全面了解其上一层的最终目标和将要解决的问题,也不必理解其更下一层实现中的有关细节问题,只要使用下一层所提供出来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,只需集中精力解决本层最需要关心的核心问题即可,而不必牵扯各上下层中的其他问题。例如,在用高级语言设计程序时,无须深入了解各低层的内容。

(1) 第 0 个层次是数字逻辑层,着重体现实现计算机硬件的最重要的物质材料是电子线路,能够直接处理离散的数字信号。设计计算机硬件的基础知识就是数字逻辑和数字门电路,解决的基本问题包括: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方面。这一部分属于计算机组成原理预备性的知识。

(2) 第 1 个层次是微体系结构(Micro Architecture)层,也称其为计算机裸机。计算机的核心功能是执行程序,程序是按一定规则和顺序组织起来的指令序列。这个层次着重体现的是,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),每个部件具体如何组成和怎样运行,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。计算机硬件系统通常由运算器部件(数据通路)、控制器部件、存储器部件、输入设备和输出设备这 5 个部分组成,这些部分是计算机组成原理的主要内容。

(3) 第 2 个层次是指令系统(Instruction Set)层,介于硬件和软件之间。它涉及需要确定使用哪些指令;指令能够处理的数据类型和对各种类型数据可以执行的运算;每一条指令的格式和实现的功能;如何指出想要对其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;对哪些数据进行运算,执行哪一种运算;如何保存计算结果等。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,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。也就是说,硬件系统就是要实现每一条指令的功能,能够直接识别和执行由指令代码组成的程序。当然,指令系统与计算机软件的关系也十分密切,指令是用于设计程序的。节省硬件资源和有利于提高程序运行效率是对指令系统的主要要求。在计



图 1.1 计算机系统层次结构

算机内部,全部的程序最终都由指令系统所提供的指令代码组成,计算机硬件能够直接识别和执行的只能是由指令代码组成的程序。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事情,需要非常认真仔细地分析和对待。指令系统设计属于计算机系统结构的范围,合理选择可用的线路实现每一条指令的功能则是计算机组成的主要任务。

(4) 第3个层次是操作系统(Operating System)层。它是计算机系统最重要的软件,主要负责计算机系统资源的管理与分配,以及向使用者和程序设计人员提供简单、方便、高效的服务。一套计算机系统中包含了大量高价的、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,因此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,这些功能是由操作系统承担的。操作系统还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,使得程序设计更简单,创建用户的应用程序和操作计算机更方便。它是使用(直接或者间接)计算机指令系统所提供的指令设计出来的程序,并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。也可以说,操作系统进一步扩展了原来的指令系统,提供了新的可用命令,从而构成一台比起纯硬件系统(计算机裸机)功能更加强大的计算机系统。操作系统不属于计算机组成的范围,在计算机专业的教学安排中应该设置这门软件课程。

(5) 第4个层次是汇编语言(Assembly Language)层。计算机是由人指挥控制,供人使用的电子设备。使用计算机的人员要有办法把自己的意图告知给计算机,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的实现)听懂人类的自然语言,更无法执行人类自然语言的全部命令。最简单的解决办法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,也就是计算机的指令。一台计算机的全部指令构成该计算机的指令系统(Instruction Set)。由此可以看出,计算机的基础硬件实质上是在机器语言的层次上被设计与实现出来的,并且可以直接识别和执行的只能是由机器语言构成的程序。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实现都更容易一点,这就要用到汇编语言和高级程序设计语言以及各种专用目的的语言。

汇编语言(Assembly Language)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。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),并且避免程序设计人员亲自花费精力为这些数据分配存储单元,而是将这些工作留给汇编程序自己去安排,这样的语言就达到了实用的最基本的标准。如果在此基础上,再支持程序的不同结构特性(如循环和重复执行等结构),将子程序所用哑变元替换为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,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作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。由于汇编语言和机器语言存在十分紧密的对应关系,在讲授和学习计算机组成原理课程时,通常应使用汇编语言来设计实例程序。

(6) 第5个层次是高级语言层,高级语言又称算法语言(Algorithm Language),它的实

现思路不再是过分地“靠拢”计算机硬件的指令系统,而是侧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C、C++、PASCAL、Java、BASIC等。用这些语言设计出来的程序通常需要经过一个叫作编译程序的软件将其编译成机器语言程序,或者首先编译成汇编程序后,再经过汇编操作后得到机器语言程序,才能在计算机的硬件系统上予以执行。也可以由一个叫作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很低。高级语言不属于计算机组成课程的范围。

在高级语言层之上,还可以有应用层,由解决实际问题的处理程序组成,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。但这些内容已经超出了本书的讨论范围,不在这里赘述,换句话说,计算机是用于解决各种应用问题的系统,为有应用而存在,通过处理各种应用问题而体现出它的性能和价值。

在大部分的教材中,人们通常把没有配备软件的纯硬件系统称为“裸机”,这是计算机系统的根基或称“内核”。它的设计目标更多地集中到方便硬件实现和有利于降低成本两个方面,因此提供的功能相对较弱,只能执行由机器语言构成的程序,非常难以使用。为此,人们期望能开发出功能更强、更接近人的思维方式和使用习惯的语言,这是通过在裸机上配备适当的软件来完成的。每加一层软件就构成一个新的“虚拟计算机”,功能更强大,使用也更加方便。例如,配备了操作系统之后,就可以通过操作系统的命令(Command)或者窗口上的图标方便地操作使用这个新的虚拟机系统;再配备上汇编语言,用户就可以用它来编写用户程序,实现用户预期的处理功能;配备了高级语言之后,用户就可以用它来更方便高效地编写程序,解决处理规模更为庞大、逻辑关系更加复杂的问题。例如,可以把前面说明的计算机系统中的第1~5层分别称为裸机、 L_1 虚拟机(支持机器语言)、 L_2 虚拟机(增加了操作系统)、 L_3 虚拟机(支持汇编语言)、 L_4 虚拟机(支持高级语言)。

1.2 计算机硬件的5个功能部件及其功能

计算机系统的核心功能是执行程序。为此,首先必须有能力把要运行的程序和用到原始数据输入到计算机内部并存储起来,接下来应该有办法逐条执行这个程序中的指令以完成数据运算并得到运算结果,最后还要可以把运算结果输出供人检查和使用。为此,一套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1.2所示。

在图1.2中通过5个方框图给出了计算机硬件的5个基本功能部件。其中的4个部件所分担的功能,通过方框中的文字说明已经表示出来。例如,数据输入设备完成对程序和原始数据的输入功能,数据存储部件完成对程序和数据的存储功能,数据运算部件完成对数据的运算处理功能,结果输出部件完成对运算处理结果的输出功能。而控制器部件则是依照每条指令的运行功能的需要,向各个部件或设备提供它们协调运行所需要的控制信号,在整个硬件系统中起到指挥、协调和控制的作用。

可以把计算机想象为一个加工、处理数据的工厂,则数据运算部件就是数据加工车间;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