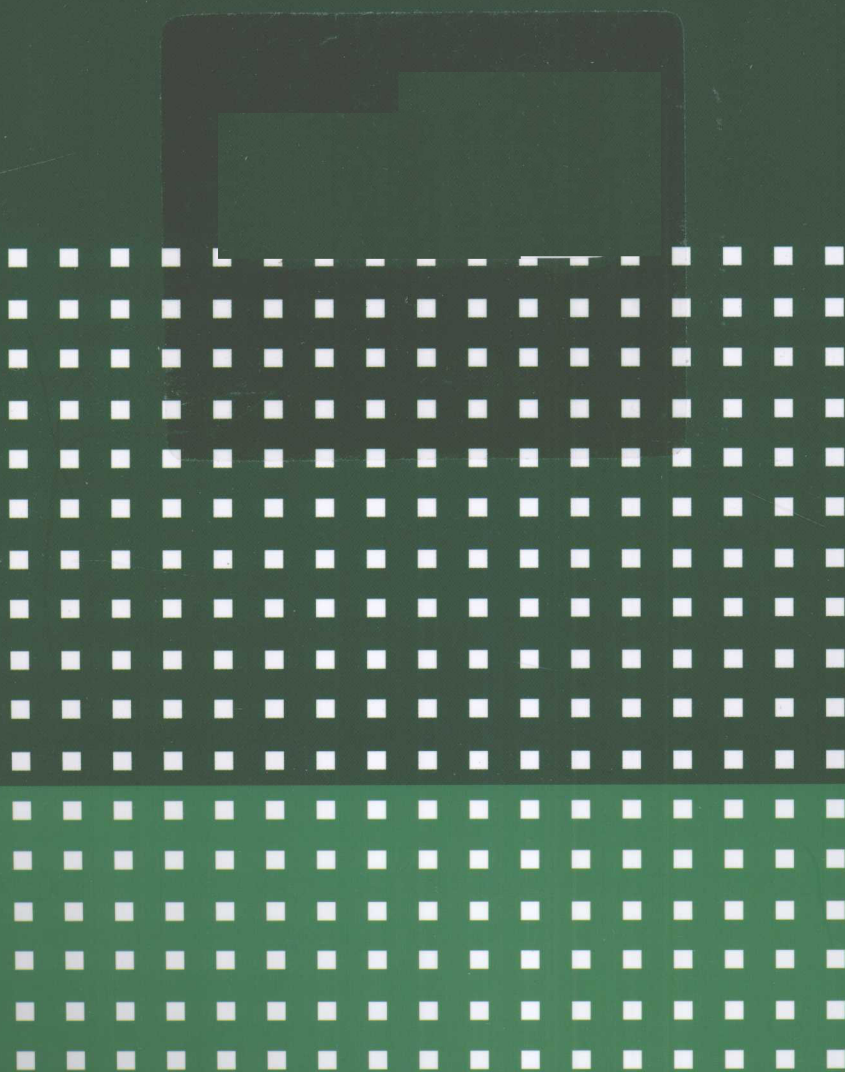


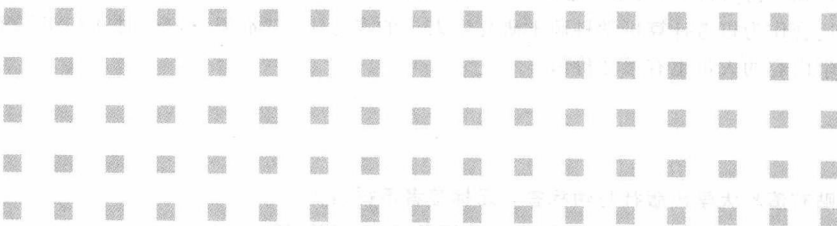
计算机组成原理 考研辅导

王 诚 董长洪 编著



清华大学出版社





计算机组成原理 考研辅导

王 诚 董长洪 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书共分7章,与《计算机学科专业基础综合考试大纲》中给出的章节顺序和规定的考试内容保持一致。每一章由考试内容范围、重点知识讲解、典型例题解答、习题与习题答案4部分内容组成。本书强调能够把“计算机组成原理”课程的整体内容和各部分知识的关联性梳理清晰,把重点的基础知识、基本概念和基本技能理解得更精准和更到位一些,对计算机各个部件的功能和整机系统的运行机制能够了解,为此很关注重点知识讲解部分,典型例题解答所占比例较大。

本书适合作为报考计算机学科硕士研究生人员的参考书,对希望用较少时间初步了解计算机组成原理课程教学内容的人员也有参考价值。

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 13701121993

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理考研辅导/王诚等编著. —北京:清华大学出版社,2010.3

ISBN 978-7-302-21864-7

I. ①计… II. ①王… III. ①计算机体系结构—研究生—入学考试—自学参考资料
IV. ①TP303

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第011221号

责任编辑:袁勤勇 白立军

责任校对:梁毅

责任印制:何芊

出版发行:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社总机:010-62770175

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

地 址:北京清华大学学研大厦A座

邮 编:100084

邮 购:010-62786544

印装者:北京市清华园胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260

印 张:13.5

字 数:334千字

版 次:2010年3月第1版

印 次:2010年3月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:22.00元

本书如存在文字不清、漏印、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:010-62770177 转 3103 产品编号:035892-01

前言

FOREWORD

从2009年开始,教育部决定对全国计算机学科硕士研究生入学考试采取专业基础综合考试的形式,也就是通常说的全国统考。在统考科目中,包括数据结构、计算机组成原理、操作系统和计算机网络4门课程,总分为150分,其中计算机组成原理占45分,占到30%,分量较重。计算机组成原理课程的复习效果对专业课程考试得分起重要作用。

“计算机组成原理”课程是计算机专业本科阶段极其重要的一门课程,也是一门教学内容多、学习难度大的课程。原因有三个:一是教学内容偏重硬件,直接应用目标不是很清晰,学生的重视程度不够;二是课程教学以课堂讲授知识点为主,缺乏必要的教学实践支持,与课程具有大量技术性、工程性的教学内容特点不吻合;三是部分授课教师本身缺乏工程设计背景,授课过程中往往限于书本字面内容,对部分关键内容的把握有时不是特别精准。

本课程围绕单CPU计算机硬件系统的基本组成和工作原理,系统地讲述计算机硬件系统及其功能部件的内部结构、功能特征、工作原理、交互方式和基本设计方法,使学生系统地理解计算机硬件系统的组织结构与工作原理,掌握计算机硬件系统的基本分析与设计方法。主要内容包括计算机组成概述、数值的机器表示与运算、存储系统、指令系统、中央处理器、总线、输入/输出系统等,它们已经被纳入考研内容的范围。

课程教学内容的特点和难点主要表现在以下几个方面:

(1) 内容比较凌乱,条理有点繁杂,讲课过程中一般性的叙述多,涉及的实际例子往往不能给人以较深刻、准确的印象,课程整体内容比较难以梳理清晰。

(2) 计算机是一个内部运行状态不能直接观察、高度复杂的封闭式系统,信息(指令、数据、控制信号)以一定的时间序列在计算机内部各部件之间保存、运算、传送,比较难以叙述、展现清楚,而这恰是计算机组成原理课程的主要内容,比较难以理解到位。

(3) 适当的教学实验是学好计算机组成原理课程的重要环节,但由于有些教学单位缺乏必要的实验条件,或者一些教师和学生对此重视不够,使原本是很实际的、活生生的计算机组成变成了比较空泛、比较抽象、生硬死板的说教式的文字表述,加重了前两条说的课程整体内容难以梳理清晰、关键内容难以理解到位的矛盾。

前面分析了课程的教学内容及其难点,主要还是针对课程的授课与学习过程说的,表面上看与现在开始的考研复习并不直接相关,其实并非如此。在本书编写的过程中,我们是针对备考学生对课程内容梳理不清晰、理解不到位的情况来取舍本书的素材和确定编写方法的,突出了备考学生的考研需

求这个总体目标。

在设计本书的内容结构时,是完全遵照考研大纲的规定来安排的。全书分为7章,每章内容包括考试内容范围(来自考研大纲)、重点知识讲解、典型例题解答、习题与习题答案这4个部分。在这几部分内容中,我们更看重重点知识讲解和典型例题解答这两部分,习题与习题答案部分更多地用于备考学生检查自己备考复习的效果。我们更强调学懂基础原理知识和掌握基本概念而不是搞题海战术。原因很简单,学懂了的知识,明白了的概念是回答问题的基础,从考研的要求出发,这些概念和知识是在一个限定的范围之内,应该说不是太多,也不算是太难,梳理清晰、理解到位是可能办得到的,而考试题目则可以千变万化,是不可能通过多做题来解决的。基本概念、基础知识、基本技能是考试的主要内容,而且会偏重于面上的、结论性的、重要的内容,而不会涉及太多更深入、更具体的细节问题。我们会在重点知识讲解的部分把这些内容梳理清晰,讲解明白,但深度不会太深,内容也不可能太全,只限于对考试大体够用即可,这有利于降低考生复习备考的难度。

对试题部分,典型例题解答是为了配合重点知识讲解而选出的,所占的分量比较合理。考研大纲中规定只考两种题型(选择题和综合应用题),我们没有完全受限于这种规定,在此之外还给出了填空题和简答题,因为这类题型可能更有助于帮助考生理解基本概念与基础知识。再次强调,单纯做题或者以做题为主的复习办法是不可取的。在试题部分,对实际考题内容、各题凸现的考点做了必要解读,给出了试题的答案,并对答题的技巧和需要注意的问题进行了某些说明,希望考生在复习备考的过程中要对这一部分内容特别加以关注,为此我们把这些内容统一放到附录中,而没有把各试题依据其内容分散到相应的章节,以方便大家阅读思考。

在考生备考的过程中,既要比较全面地复习课程的整体内容,又要有重点地复习掌握课程的重点内容,平衡好两者之间的关系至关重要。提出如下几点建议,仅供参考。

(1) 数字电路的有关知识是学习计算机组成原理课程的必要准备,如果缺少这一部分知识想学好这门课程是很困难的,但考生在备考过程中可以不必太关心这些数字电路知识。

(2) 要真正学懂计算机组成原理的通用知识,在各章节中提供比较真实的部件组成与运行控制的例子是必要的,备考的学生还是要把主要精力放在通用原理方面,实际例子只作为学懂和准确理解通用原理的一个认知过程。

(3) 关键的带有一定全局性的基本原理、基本概念是重要考点,很多更深入的细节内容可以少花费一点时间。

(4) 课程中的某些技术指标有定性了解、定量计算两种情况,要把握好两者的尺度。

(5) 四选一的题目有时要计算,不见得就是简单选择;答题过程中,针对选择型题目,要注意提醒的是要你选择的到底是“是”还是“不是”,不要弄反了。通常那个正确选项和另外几个不正确的选项不是特别难确定。

(6) 对综合应用题,往往同时考几个概念,几个知识点,真正带有一定的综合性,掌握各知识点之间的对应与从属关系,针对考题找准答题思路,看准该题要考的关键知识点;答案也不见得唯一,正确就好,不一定追求最完美的答案,要找到自己最有把握的答案。

作 者

2009年9月

计算机组成原理 考 研 说 明

计算机组成原理考查目标：

(1) 理解单处理器计算机系统中各部件的内部工作原理、组成结构以及相互连接方式,具有完整的计算机系统的整机概念。

(2) 理解计算机系统层次化结构概念,熟悉硬件与软件之间的界面,掌握指令集体系结构的基本知识和基本实现方法。

(3) 能够运用计算机组成的基本原理和基本方法,对有关计算机硬件系统中的理论和实际问题进行计算、分析,并能对一些基本部件进行简单设计。

目 录

C O N T E N T S

第 1 章	计算机系统概述	1
1.1	计算机的发展历程	1
1.1.1	计算机的产生、发展与应用	1
1.1.2	计算机的分类	2
1.2	计算机系统的层次结构	2
1.2.1	计算机硬件的基本组成	2
1.2.2	计算机使用三个级别的语言	3
1.2.3	计算机系统的层次结构	4
1.2.4	计算机的工作过程	5
1.3	计算机系统技术与性能指标	6
1.3.1	计算机系统技术与性能指标的描述	6
1.3.2	几个专业术语和概念	8
1.4	典型例题解答	9
1.5	习题	10
1.5.1	选择(单选)和填空题	10
1.5.2	综合应用与简答题	11
1.6	习题答案	12
1.6.1	选择(单选)和填空题答案	12
1.6.2	综合应用与简答题答案	12
第 2 章	数据的表示和运算	14
2.1	数制与编码	14
2.1.1	进位计数制及其相互转换	14
2.1.2	字符与字符串	15
2.1.3	校验码	16
2.2	定点数的表示和运算	18
2.2.1	定点数的表示	18
2.2.2	定点数的运算	20
2.3	浮点数的表示和运算	21
2.3.1	浮点数的表示	21
2.3.2	浮点数的加/减运算	23

2.4	算术逻辑单元	24
2.4.1	串行加法器和并行加法器	24
2.4.2	基本算术逻辑部件	26
2.5	典型例题解答	27
2.6	习题	35
2.6.1	选择(单选)和填空题	35
2.6.2	综合应用与简答题	36
2.7	习题答案	36
2.7.1	选择(单选)和填空题答案	36
2.7.2	综合应用与简答题答案	36

第3章 层次结构的存储器系统 38

3.1	存储器的性能指标和分类	38
3.2	存储器的三层结构	39
3.3	半导体随机存取存储器	40
3.3.1	存储芯片的内部组成	40
3.3.2	静态 RAM 和动态 RAM 的工作原理	41
3.4	只读存储器	44
3.4.1	用二极管或三极管构成的只读存储器	44
3.4.2	可编程 ROM	45
3.5	主存储器与 CPU 的连接	45
3.5.1	连接关系	45
3.5.2	读、写操作	49
3.6	双口 RAM 和多模块存储器	49
3.7	高速缓冲存储器	51
3.7.1	高速缓冲存储器的运行原理	51
3.7.2	Cache 的三种地址映像方式	53
3.8	虚拟存储器	56
3.8.1	虚拟存储器的功能与特点	56
3.8.2	虚拟存储器的管理方式	57
3.8.3	虚存与 Cache 的比较	59
3.9	典型例题解答	59
3.10	习题	70
3.10.1	选择(单选)和填空题	70
3.10.2	综合应用与简答题	71
3.11	习题答案	72

3.11.1 选择(单选)和填空题答案	72
3.11.2 综合应用与简答题答案	72

第4章 指令系统

76

4.1 指令的格式、功能和分类	77
4.1.1 操作码字段的组织与编码	77
4.1.2 操作数地址字段的表示与编码	79
4.2 寻址方式	80
4.2.1 立即数寻址	80
4.2.2 直接寻址	80
4.2.3 寄存器寻址、寄存器间接寻址	81
4.2.4 变址寻址	81
4.2.5 相对寻址	82
4.2.6 基地址寻址	82
4.2.7 间接寻址	83
4.2.8 堆栈寻址	83
4.3 CISC 和 RISC 的基本概念	83
4.3.1 RISC/CISC 的性能比较	84
4.3.2 RISC 计算机的特点	84
4.4 指令系统举例	85
4.4.1 MIPS 计算机的指令系统	85
4.4.2 TEC-2008 和 TII-FPGA 计算机的指令系统	86
4.5 典型例题解答	89
4.6 习题	94
4.6.1 选择(单选)和填空题	94
4.6.2 综合应用与简答题	96
4.7 习题答案	96
4.7.1 选择(单选)和填空题答案	96
4.7.2 综合应用与简答题答案	96

第5章 中央处理器

98

5.1 硬件系统的功能部件及其连接关系	99
5.2 运算器的功能、组成和工作原理	100
5.3 控制器的功能、组成和工作原理	101
5.3.1 组合逻辑控制器的组成和运行原理	102
5.3.2 微程序控制器的运行原理	104
5.3.3 指令执行步骤综述	109

5.4	计算机整机系统举例	109
5.4.1	MIPS 计算机系统	109
5.4.2	TEC-2008 计算机系统	115
5.4.3	TH-FPGA 计算机系统	121
5.5	指令流水线	126
5.5.1	指令的重叠执行	126
5.5.2	流水线的特点与分类	128
5.5.3	指令流水线的性能指标	129
5.5.4	指令流水线中的相关问题及其解决思路	131
5.5.5	指令级并行技术	132
5.6	典型例题解答	134
5.7	习题	137
5.7.1	选择(单选)和填空题	137
5.7.2	综合应用与简答题	140
5.8	习题答案	141
5.8.1	选择(单选)和填空题答案	141
5.8.2	综合应用与简答题答案	142
第 6 章	总线	145
6.1	总线概述	145
6.1.1	总线的基本概念	145
6.1.2	总线结构	146
6.1.3	总线主要性能指标与标准	147
6.2	总线操作和定时	147
6.2.1	数据的传输	147
6.2.2	总线定时	148
6.3	总线仲裁与传输控制	148
6.4	典型例题解答	149
6.5	习题	156
6.5.1	选择(单选)和填空题	156
6.5.2	综合应用与简答题	158
6.6	习题答案	159
6.6.1	选择(单选)和填空题答案	159
6.6.2	综合应用与简答题答案	159
第 7 章	输入/输出系统	163
7.1	I/O 系统的基本概念	163

7.1.1	输入/输出系统	163
7.1.2	I/O 接口的类型	164
7.1.3	I/O 控制方式	164
7.2	外部设备	165
7.2.1	输入设备	165
7.2.2	输出设备	166
7.2.3	外存储器	168
7.3	I/O 接口	170
7.3.1	I/O 接口的功能和基本结构	170
7.3.2	I/O 端口与编址方式	171
7.4	I/O 方式	172
7.4.1	程序查询方式	172
7.4.2	程序中断方式	172
7.4.3	DMA 方式	174
7.4.4	通道方式	175
7.5	典型例题解答	177
7.6	习题	181
7.6.1	选择(单选)和填空题	181
7.6.2	综合应用与简答题	183
7.7	习题答案	185
7.7.1	选择(单选)和填空题答案	185
7.7.2	综合应用与简答题答案	185
附录 A	2009 年“计算机组成原理”考研试题	193
附录 B	试题分析	196
附录 C	试题解答与解释	197
参考文献		202

第 1 章

计算机系统概述

考试内容范围

1. 计算机发展历程
2. 计算机系统层次结构
 - (1) 计算机硬件的基本组成
 - (2) 计算机软件的分类
 - (3) 计算机的工作过程
3. 计算机性能指标
 - (1) 吞吐量、响应时间
 - (2) CPU 时钟周期、主频、CPI、CPU 执行时间
 - (3) MIPS、MFLOPS

1.1 计算机的发展历程

1.1.1 计算机的产生、发展与应用

1. 硬件的发展

自从 1946 年诞生人类第一台数字电子计算机 ENIAC 以来,直至现在,构成计算机硬件的主要器件从电子管发展成晶体管、中小规模集成电路、大规模集成电路直至超大规模集成电路,使计算机从第一代发展到第四代,直至现在正研制的新一代计算机,它的速度从 40 000 次/秒发展到 100 000 000 次/秒。

微处理机的字长从 4 位的 4004 发展到 8 位的 8080,直至目前 64 位的 Pentium IV。

根据摩尔定律集成电路的集成度大体上每 18 个月翻一番,今后 10 年该定律继续有效。

2. 软件的发展

计算机系统的发展与软件(包括系统软件、应用软件)技术的兴起和发展密切相关。计算机语言的发展历经了面向机器的机器语言和汇编语言,面向问题的高级语言;高级语言的发展也从科学计算和工程计算的 FORTRAN、结构化程序设计 PASCAL 到面向对象的 C++ 语言和适应网络环境的 Java 语言;与此同时,直接影响计算机系统性能提升的各种系统软件,也有了长足的发展,特别是微机的操作系统,从 DOS 发展到目

前的窗口与网络操作系统。

3. 计算机的应用

计算机系统的发展实际上与计算机的应用是互相促进的,计算机的应用从早期的科学计算、数据处理到工业控制、实时控制,直至目前的网络技术(电子商务、网络教育)、多媒体技术与人工智能方面等诸多的应用。

随着社会需求和微电子技术的不断发展,计算机的系统结构仍在继续发展,其发展趋势是:从体积上向巨型化和微小型化发展;从处理与应用上向并行处理、网络化、多媒体、智能化等方向发展;计算机的体系结构等方面可能有重大发展或突破。

1.1.2 计算机的分类

按信号类型分为模拟计算机和数字计算机。

按规模分为嵌入式、单片机、微型机、小型机、中型机、大型机和巨型机。

按发展历程分为(世界上第一台计算机诞生的时间 1946 年和名称 ENIAC):电子管,晶体管,集成电路,大规模、超大规模集成电路 4 代计算机。

按指令和数据流分为:

- (1) 单指令流、单数据流系统 SISD(传统冯·诺依曼体系结构)。
- (2) 单指令流、多数据流系统 SIMD(阵列处理机和向量处理机系统)。
- (3) 多指令流、单数据流系统 MISD(实际不存在,通常数据流受指令流控制)。
- (4) 多指令流、多数据流系统 MIMD(多处理机和多计算机系统)。

1.2 计算机系统的层次结构

1.2.1 计算机硬件的基本组成

1. 冯·诺依曼体系结构计算机

存储程序的计算机,其特点如下:

- (1) 使用电子电路实现计算机的主要功能,完成高速、自动的运行过程。
- (2) 使用二进制代码,既表示数据又表示指令。
- (3) 运行的程序和数据保存在存储器中,按地址顺序存放,通过地址完成读写。
- (4) 在早期是以运算器为中心来组织的。
- (5) 指令串行执行,是典型的单指令流单数据流的系统。

2. 硬件组成的 5 个功能部件

计算机硬件的 5 个功能部件奠定了至今仍在沿用的计算机系统的基本结构。

- (1) 运算器:完成数据的暂存、变换、算术和逻辑运算功能。

(2) 控制器：完成对计算机各部件协同运行的指挥控制，即保证指令按预定的次序执行，保障每一条指令按规定的执行步骤正确执行，还要处理各项紧急事件。

(3) 存储器：主存(内存)和辅存(外存)，主存存储正在运行的程序和相关数据，辅存以文件形式保存程序和数据文档；可读可写存储器 RAM 在断电后所存信息会消失，只读存储器 ROM 所存信息在断电后不会消失。

(4) 输入设备：用于向计算机送入用户操作命令、程序和数据。

(5) 输出设备：用于送出计算机的运行结果等内容。

运算器和控制器组合在一起称为中央处理器(CPU)，CPU 和主存一起称为主机，输入/输出设备和辅助存储器设备通称为外围设备，外围设备要通过接口与主机连接。

计算机的 5 个功能部件通过数据总线、地址总线、控制总线彼此连接在一起，实现信息传送，3 种总线分别用于传送数据(指令)信息、主存和输入/输出设备接口的地址信息、主存和输入/输出设备等的操作与控制信息。

1.2.2 计算机使用三个级别的语言

1. 机器语言

机器语言指的是一台计算机的指令系统，它可以被用来编写程序，是构成编写程序的一种语言，又被称为二进制代码语言。它非常难以使用，需要编程人员记忆每一条指令的二进制编码，需要亲自为指令和变量分配内存地址等。计算机硬件能够直接识别和运行的只能是机器语言的程序。

2. 汇编语言

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。与机器语言相比，汇编语言至少有 2 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。在此基础上，还可以在支持程序的不同结构特性(如循环和重复执行等结构)，子程序所用形式参数替换为真实参数等方面提供必要的支持。汇编语言的程序必须经过一个称为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执行。

3. 高级语言

高级语言又称为算法语言(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。通常需要经过一个称为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；也可以由一个称为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成机

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很低。高级语言不属于计算机组成原理课程的内容。

1.2.3 计算机系统的层次结构

一个完整的计算机系统由硬件(hardware)系统和软件(software)系统两类资源组成。

计算机的硬件系统是计算机系统物理设备,是一种高度复杂的、由多种电子线路和精密机械装置等构成的、能自动并且高速地完成数据计算的装置或者工具。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应用软件(厂家提供)与用户软件(用户设计并自己使用)两大部分。计算机的硬件和软件相互依存,并且分工互动,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,软件则是指指挥硬件完成预期功能的智力部分,正如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。

计算机硬件和软件系统的组成关系可以从图 1.1 所示的 6 个层次来进一步深入认识。图 1.1 中最下面的两层属于硬件部分,最上面的 3 层属于软件部分,而中间的指令系统层连接了硬件和软件两部分,与两部分都有密切关系。

构成计算机系统的最底层即第 0 层,是数字逻辑层,该层说明实现计算机硬件的最重要的物质材料是电子线路,是能够直接处理离散的数字信号的数字逻辑电路。数字电路和逻辑设计是学习计算机组成原理时要用到的预备性知识。

第 1 层是微体系结构(micro architecture)层,也可以称其为计算机裸机。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。这一层体现的是,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是控制器部件),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。通常,计算机硬件系统由运算器部件(数据通路)、控制器部件、存储器部件、输入设备、输出设备这 5 部分组成。

第 2 层是指令系统(instruction set)层,它介于硬件和软件之间。这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其运算所用的算法,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,对哪一个或两个数据进行运算,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。计算机是由人指挥控制的,供人来使用的。使用计算机的人员要有办法把自己的意图告诉计算机,为完成这种“对话”,就需要使用某种语言。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

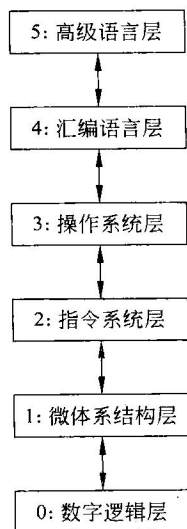


图 1.1 计算机系统层次结构

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。由此可以看出,实质上计算机的基础硬件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。使用计算机的人员很难直接使用这种语言。

第 3 层是操作系统(operating system)层。它主要分担计算机系统资源的管理与分配,也向使用者和程序设计人员提供简单、方便、高效的服务。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,这些功能是由操作系统承担的。操作系统的存在,又为使用计算机的用户提供了许多支持,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。它是使用(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,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。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,提供了新的可用命令,从而构成一台比纯硬件系统(计算机裸机)功能更加强大的计算机系统。

第 4 层是汇编语言(assembly language)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。

第 5 层是高级语言层,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。机器语言、汇编语言、高级语言的特点已经在前面 1.2.2 节进行了简要说明。

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。计算机是用于解决各种应用问题的系统,为应用而存在,为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有利于提高性能又方便硬件实现和降低成本,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,可以把计算机系统的一到五层分别称为 L0 裸机、L1 虚拟机(支持机器语言)、L2 虚拟机(增加了操作系统)、L3 虚拟机(增加了汇编语言)、L4 虚拟机(增加了高级语言)。

1.2.4 计算机的工作过程

使用计算机处理一个实际问题的过程如下:

- (1) 建立数学模型,找出反映待处理问题规律的数学模型。
- (2) 找出计算方法,选择实现模型计算的具体算法。
- (3) 编写计算机程序,选用合适的计算机语言编写实现算法的程序。
- (4) 调试运行程序,调试写好的程序,调试正确后则运行这个程序。

(5) 输出运算结果,把程序的运行结果输出来。

如果仅从得到计算机机器语言的程序之后看,计算机硬件的工作过程如下:

(1) 把程序和数据装入到主存储器中。

(2) 从程序的起始地址运行程序。

(3) 用程序首地址从存储器中取出第 1 条指令,经过译码、执行步骤等控制计算机各功能部件协同运行,完成这条指令功能,并计算出下一条指令的地址。

(4) 用新得到的指令地址继续读出第 2 条指令并执行之,直到程序结束为止;每一条指令都是在取指、译码和执行的循环过程中完成的。

1.3 计算机系统技术与性能指标

这里只是从整机的角度,给出计算机系统的某些技术与性能指标,突出几个重要概念和基本术语,各个部件的更具体的指标安排到后续的章节去介绍。

1.3.1 计算机系统技术与性能指标的描述

1. 计算机字长

从物理上容易实现和数据运算规则考虑,现代的计算机普遍使用二进制,即每一位(一个 bit)上的数值只有 0 和 1 两个值,相邻数位之间采用“逢二进一”的规则处理,用从右到左依次排列起来的一串二进制的数表示不同的数值和信息。

在计算机系统内部,通常选用多少个二进制位来表示一个数据或一条指令是一个关键技术指标,例如,16、32 或者 64 位,这个位数被称为计算机字长。例如,在 32 位字长的计算机系统中,一个整数、一条指令通常都用 32 位二进制数表示,称为一个字,运算器、存储器、数据和地址总线等通常都被设计成 32 位。字长对计算机的处理能力和运行性能有明显影响,字长长一点有利于提高计算机的性能,但需要使用更多的硬件,系统的价格也会高一些。计算机字长通常都选定为字节(Byte,由 8 个二进制位组成)的整数倍,通常是 2、4、8 倍。

2. CPU 速度

衡量 CPU 速度,通常有两种方案。

第一种方案使用 CPU 主频,即 CPU 系统使用的时钟脉冲的频率[每一秒钟提供的时钟脉冲的个数称为赫兹(Hz), 10^6 Hz: MHz, 10^9 Hz: GHz]来表示,如 500MHz。对同一个型号的计算机,其主频越高,完成指令的一个执行步骤所用的时间越短,执行指令的速度越快,但对不同厂家、不同系列的计算机系统,只用 CPU 主频来说明其运行速度就未必准确。

第二种方案使用 CPU 每一秒钟能执行的指令条数,单位是 MIPS(million instructions per second),其计算公式可以通过如下等式推导出来:

$$T = \text{CPI} \times T_{\text{IC}} \times I$$

其中, T 是执行一个程序占用的全部时间; CPI 是执行一条指令平均使用的 CPU 时钟