

21世纪高等学校规划教材 | 计算机科学与技术



# 计算机组成原理

(第2版)

陆 遥 编著

清华大学出版社

21世纪高等学校规划教材 | 计算机组成原理



# 计算机组成原理

## (第2版)

陆 遥 编著

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书对单处理机计算机系统的组成和工作原理做了比较全面的阐述。全书共分8章,第1章介绍计算机系统的概况;第2章讲述非数值数据和数值数据的编码表示方法;第3章讲解运算方法和运算部件;第4章讲解存储器系统;第5章讲解指令系统的功能和设计;第6章讲解中央处理器,主要是控制器的组成、原理及设计;第7章介绍系统总线;第8章介绍输入输出系统。

本书着力突出计算机组成原理课程的主要内容,对重点、难点问题进行了深入、细致的解析。在第1版的基础上,本版对书中部分内容做了增删、调整和修改,尤其加强了控制器部分的内容。每章后面都附有精心设计和挑选的习题,供读者思考与练习。

本书可作为高等院校计算机专业的教材,也可作为考研学子及从事计算机工作的技术人员的参考书。

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

计算机组成原理/陆遥编著.--2版.--北京:清华大学出版社,2015

21世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术

ISBN 978-7-302-40968-7

I. ①计… II. ①陆… III. ①计算机组成原理—高等学校—教材 IV. ①TP301

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第167183号

责任编辑:郑寅堃 薛 阳

封面设计:傅瑞学

责任校对:焦丽丽

责任印制:杨 艳

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](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

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

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:17.5 字 数:423千字

版 次:2011年12月第1版 2015年10月第2版 印 次:2015年10月第1次印刷

印 数:1~1500

定 价:35.00元

# 出版说明

---

随着我国改革开放的进一步深化,高等教育也得到了快速发展,各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度,通过教育改革合理调整和配置了教育资源,优化了传统学科专业,积极为地方经济建设输送人才,为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是,高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要,不少高校的专业设置和结构不尽合理,教师队伍整体素质亟待提高,人才培养模式、教学内容和方法需要进一步转变,学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月,教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》,计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”(简称“质量工程”),通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容,进一步深化高等学校教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中,各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势,对其特色专业及特色课程(群)加以规划、整理和总结,更新教学内容、改革课程体系,建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上,经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议,清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程,分别规划出版系列教材,以配合“质量工程”的实施,满足各高校教学质量和教学改革的需要。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上。精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合21世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版

社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。推出的特色精品教材包括:

- (1) 21世纪高等学校规划教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。
- (2) 21世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。
- (3) 21世纪高等学校规划教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。
- (4) 21世纪高等学校规划教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。
- (5) 21世纪高等学校规划教材·信息管理与信息系统。
- (6) 21世纪高等学校规划教材·财经管理与应用。
- (7) 21世纪高等学校规划教材·电子商务。
- (8) 21世纪高等学校规划教材·物联网。

清华大学出版社经过三十多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会

联系人:魏江江

E-mail: weijj@tup.tsinghua.edu.cn

# 前言

本书是作者在广泛参阅国内外同类优秀教材的基础上,集十余年的课程教学与实验经验精心编写而成的。本书提出的“使学生建立起在控制器控制之下的计算机整体概念,充分理解程序、指令、控制、操作之间的关系”的教学理念,强调了控制在计算机系统中的重要地位,是本书的重要特色。

本书第1版于2011年12月出版,几年来,在不同层次的课程教学中发挥了良好的作用。为了让本书更好地服务于教学,本版在第1版的基础上,继续秉持“内容精练、重点突出、讲解深入细致、强调学生主体”的宗旨,对部分内容做了仔细的增删、调整和修改,尤其加强了控制器部分的内容。本版做出的比较重要的改动有:

(1) 考虑到逻辑运算和逻辑门对计算机硬件设计的重要性,在第2章介绍逻辑数据表示时,增加了逻辑运算与逻辑门的内容。

(2) 为了更严谨地描述对数据通路的控制,在第3章介绍定点运算器的基本结构时,在寄存器及ALU的输出端增加了三态缓冲器。

(3) 考虑到无内部总线结构的CPU已没有现实意义,在第6章中删去了与此相关的内容。

(4) 为了让学生更好地了解计算机的实际控制方法,在第6章中结合实际增加了更多控制细节的描述,特别是对微程序控制方式下的时序控制问题做了比较详细的分析。

除以上所做的主要改变外,本版还对书中的部分文字、图形等做了修改与补充,以使全书内容更加严谨、准确。本版在教学内容与实际相结合方面所做的努力,应能对学生的课程实验及课程设计发挥良好的指导作用。

为配合本课程的教学需要,本版继续为任课教师配备电子课件和习题参考答案,如需要,可用电子邮件与清华大学出版社编辑郑寅堃(Zhengyk@tup.tsinghua.edu.cn)联系。

感谢选用本书作为教材或参考资料的教师、学生及广大读者朋友,同时,希望大家对书中的不足及错误提出批评与指正。

陆 遥

2015年3月



# 目录

<b>第 1 章 计算机系统概述</b> .....	1
1.1 计算机组成的任务 .....	1
1.2 计算机的硬件系统构成 .....	2
1.2.1 计算机的基本硬件组成.....	2
1.2.2 计算机的主要性能指标.....	3
1.3 计算机的软件系统构成 .....	4
1.3.1 计算机的语言.....	4
1.3.2 计算机的软件.....	5
1.4 计算机系统的层次结构特征 .....	5
1.5 电子计算机的发展简史 .....	7
习题.....	8
<b>第 2 章 计算机的数据表示</b> .....	9
2.1 字符数据的表示 .....	9
2.2 逻辑数据的表示.....	10
2.3 校验码.....	12
2.3.1 码距与校验位的概念 .....	12
2.3.2 奇偶校验码 .....	13
2.3.3 海明校验码 .....	13
2.3.4 循环冗余校验码 .....	16
2.4 数值数据的表示.....	19
2.4.1 数的二进制真值表示 .....	19
2.4.2 用 BCD 码表示十进制数.....	20
2.4.3 定点数的表示 .....	21
2.4.4 浮点数的表示 .....	25
习题 .....	28
<b>第 3 章 运算方法和运算部件</b> .....	29
3.1 定点加减法运算.....	29
3.1.1 补码加减法运算 .....	29
3.1.2 行波进位补码加法/减法器.....	32
3.2 定点乘法运算.....	34

3.2.1	原码一位乘法 .....	34
3.2.2	补码一位乘法 .....	35
3.2.3	阵列乘法器 .....	37
3.3	定点除法运算 .....	40
3.3.1	原码一位除法 .....	40
3.3.2	补码一位除法 .....	43
3.3.3	阵列除法器 .....	46
3.4	定点运算器的组成与结构 .....	47
3.4.1	逻辑运算与移位操作 .....	47
3.4.2	算术逻辑单元的功能设计 .....	48
3.4.3	定点运算器的基本结构 .....	51
3.5	浮点运算 .....	53
3.5.1	浮点加法、减法运算 .....	53
3.5.2	浮点乘法、除法运算 .....	57
3.5.3	浮点运算部件 .....	58
习题	.....	58
<b>第4章</b>	<b>存储器系统 .....</b>	<b>60</b>
4.1	概述 .....	60
4.1.1	存储器分类 .....	60
4.1.2	存储器系统的层次结构 .....	61
4.2	主存储器 .....	62
4.2.1	静态随机读写存储器 .....	63
4.2.2	动态随机读写存储器 .....	67
4.2.3	只读存储器 .....	73
4.2.4	存储器与CPU的连接 .....	76
4.2.5	可并行访问的存储器 .....	85
4.3	高速缓冲存储器 .....	88
4.3.1	cache的工作原理 .....	88
4.3.2	地址映射与地址转换 .....	90
4.3.3	cache的块替换策略 .....	96
4.3.4	cache的写策略 .....	98
4.3.5	多cache结构 .....	99
4.4	虚拟存储器 .....	101
4.4.1	虚拟存储器概述 .....	101
4.4.2	页式虚拟存储器 .....	102
4.4.3	段式虚拟存储器 .....	104
4.4.4	段页式虚拟存储器 .....	106
4.4.5	快表技术 .....	108



习题	111
<b>第 5 章 指令系统</b>	<b>114</b>
5.1 指令系统概述	114
5.2 指令格式及其设计	115
5.2.1 指令的基本格式	115
5.2.2 指令的操作数类型和操作类型	116
5.2.3 寻址方式	118
5.2.4 指令操作码的设计	122
5.2.5 指令地址码的设计	125
5.2.6 指令格式举例	127
5.3 精简指令系统计算机	131
5.3.1 从 CISC 到 RISC	131
5.3.2 RISC 的主要特点	132
习题	133
<b>第 6 章 中央处理器</b>	<b>136</b>
6.1 CPU 的功能和组成	136
6.1.1 CPU 的主要功能	136
6.1.2 CPU 的基本组成和结构	136
6.2 指令周期	140
6.2.1 指令周期的基本概念	140
6.2.2 指令周期分析举例	141
6.2.3 指令周期流程图	143
6.3 时序信号和时序产生器	144
6.3.1 时序信号的基本概念	144
6.3.2 控制器的控制方式	146
6.3.3 时序产生器的组成及工作原理	147
6.4 硬布线控制器	151
6.4.1 硬布线控制器的结构及工作原理	151
6.4.2 控制信号的设计	152
6.4.3 指令周期控制	153
6.5 微程序控制器	155
6.5.1 微程序控制原理	155
6.5.2 微指令的格式	160
6.5.3 水平型微指令的编码方法	162
6.5.4 微程序的执行顺序控制	164
6.5.5 动态微程序设计	168
6.6 指令流水线	169

6.6.1	并行处理的概念	169
6.6.2	指令流水线的工作原理	170
6.6.3	多功能流水线	172
6.6.4	流水线的性能指标	174
6.6.5	影响指令流水线性能的主要因素	175
6.6.6	提高指令级并行度的技术	179
6.6.7	典型流水处理器举例	180
	习题	183
<b>第7章</b>	<b>系统总线</b>	<b>186</b>
7.1	总线概述	186
7.1.1	总线的基本概念	186
7.1.2	总线的特性及性能指标	187
7.2	总线结构	188
7.2.1	总线的结构类型	188
7.2.2	总线结构实例	189
7.2.3	总线接口	190
7.3	总线仲裁	191
7.3.1	集中式仲裁	191
7.3.2	分布式仲裁	193
7.4	总线操作的定时方式	194
7.4.1	同步定时方式	194
7.4.2	异步定时方式	195
7.5	总线标准	196
	习题	197
<b>第8章</b>	<b>输入输出系统</b>	<b>198</b>
8.1	输入输出系统概述	198
8.2	输入设备	199
8.2.1	键盘	199
8.2.2	鼠标	200
8.2.3	触摸屏	201
8.2.4	扫描仪	201
8.3	输出设备	202
8.3.1	显示器	202
8.3.2	打印机	208
8.4	辅助存储器	212
8.4.1	磁记录原理与记录方式	213
8.4.2	硬磁盘存储器	216

8.4.3 磁盘阵列存储器.....	223
8.4.4 光盘存储器.....	228
8.5 输入输出接口 .....	233
8.5.1 输入输出接口的功能和基本结构.....	233
8.5.2 I/O 端口的编址方式 .....	235
8.6 输入输出数据传送方式 .....	235
8.6.1 程序查询方式.....	236
8.6.2 程序中断方式.....	238
8.6.3 直接存储器访问方式.....	250
8.6.4 I/O 通道方式 .....	255
8.6.5 I/O 处理机方式 .....	262
习题.....	262
参考文献.....	266

# 第1章

## 计算机系统概述

计算机系统是由硬件和软件两个子系统组成的。“计算机组成原理”讲述的是计算机硬件子系统的组成、工作原理及设计方法。本章介绍计算机系统的概况,使读者对计算机系统有一个基本了解。

### 1.1 计算机组成的任务

计算机硬件子系统从设计到实现,需要经过计算机系统结构设计、计算机组成和计算机实现三个阶段的工作。

计算机系统结构主要研究计算机系统硬件、软件功能的分配,确定硬件和软件的界面(即哪些功能由硬件完成,哪些功能由软件完成),并研究提高计算机系统性能的方法。指令系统的设计是计算机系统结构的重要内容。因为,指令系统实际上是计算机硬件、软件的重要界面,计算机的硬件系统基本上是围绕实现指令系统的功能而设计的。

计算机组成是按照计算机系统结构分配给硬件子系统的功能以及确定的概念结构,研究硬件子系统各组成部分的内部构造和相互联系,以实现机器指令级的各种功能和特性。也可以说,计算机组成是计算机系统结构的逻辑实现,包括机器内部各功能部件的逻辑设计,以及数据流和控制流的组成等。计算机组成的设计目标,是按所希望达到的性能/价格比,合理地把各种部件和设备组成计算机,以实现所确定的计算机系统结构。通常,根据对性能/价格比的不同要求,一种系统结构可以有多种不同的组成设计。

计算机实现是计算机组成的物理实现,即按计算机组成制订的方案,制作出实际的计算机系统。它包括处理器、主存、总线、接口等各种部件的物理结构的实现,器件的集成度和速度的选择和确定,器件、模块、插件、底板的划分与连接的实现,专用器件的设计,电源、冷却、装配等各类技术和工艺问题的解决等。

以上三个阶段的工作并不是界限分明的。随着相关技术和产品的不断成熟,一些本来在计算机实现阶段才涉及的具体器件,也在计算机组成设计中被直接使用,而一些本来在计算机组成阶段,为达到所要求的性能/价格比而提出的设计方案,如 cache 存储器技术、流水线技术等,也早已成为计算机系统结构设计的重要组成部分。

## 1.2 计算机的硬件系统构成

### 1.2.1 计算机的基本硬件组成

通用电子数字计算机普遍采用的是冯·诺依曼系统结构。冯·诺依曼计算机也称为存储程序计算机,其基本思想是给计算机设置一个存储器,将解题程序和数据存放在存储器中,由机器自动读取存储器中的程序指令加以执行,从而使机器自动、高速地完成解题任务。

冯·诺依曼结构计算机由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备这5大部件组成,相互间以总线连接,如图1.1所示。其典型工作过程大致为:在控制器的控制下,先通过输入设备将程序和数据输入至存储器中存放,然后由控制器自动从存储器中依次读取程序指令加以分析,并根据操作要求控制运算器进行所需的数据处理,最后再控制输出设备将数据处理结果输出。

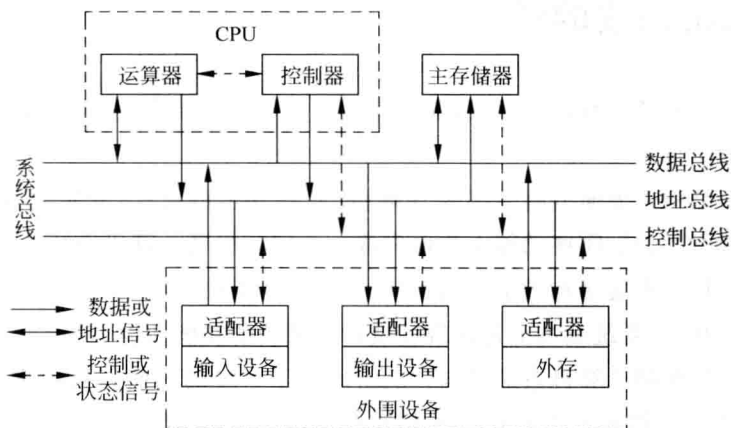


图 1.1 计算机硬件系统组成示意图

运算器是计算机的数据处理中心,完成各种算术运算、逻辑运算、移位操作等。

根据运算器处理的数据类型不同,运算器分为定点运算器和浮点运算器两类。

定点运算器的核心部件是算术逻辑部件(ALU),用于完成各种定点数算术运算和逻辑运算。逻辑运算主要用于条件判断、设备控制等方面。

浮点运算器用于完成各种浮点数(即实数)运算,其结构比较复杂,这里暂不介绍。

运算器以二进制数进行运算。其处理的数据范围及数据精度取决于所能处理的二进制数的位数。

存储器是计算机的记忆装置,按其在计算机工作过程中的作用不同,可分为主(内部)存储器和辅助(外部)存储器。

主存储器(简称主存)中存放的是计算机正在执行的程序和正在处理的数据。主存负责向控制器提供程序指令、向运算器提供运算数据,并接收运算器产生的运算结果。辅助存储器(简称辅存)中则以文件的形式存储了大量等待执行的程序和等待处理的数据,当这些程序和数据需要执行和处理时,要先从辅存调入主存才行。

存储器以存储单元为单位进行划分,一个存储单元能够容纳一个长度为8位的二进制数据,称为一个字节。一个存储器所包含的存储单元总数,就是这个存储器的存储容量。为了识别存储器中的每个存储单元,从0号开始,给每个存储单元一个编号。存储单元的编号称为存储单元的地址。对存储单元的存、取操作都是按地址进行的。

控制器是计算机的控制中心,它按严格的时间关系发出各种控制信号,控制计算机中的其他部件协调工作,完成各种操作任务。控制器在对其他部件实施控制时,往往还要根据其其他部件反馈的状态信息来进行不同的控制。

控制器完全是按人所编写的解题程序的要求来实施控制的,而程序则是由指令编排而成的。一条指令可以向控制器下达一个基本操作任务。一台计算机拥有几十条、上百条甚至几百条指令,这些指令构成一台计算机的指令系统。控制器的基本任务,就是按照程序的安排,从存储器中依次取出各条指令,并对指令进行分析和控制执行,直至程序结束。

一条指令的处理过程分为两个阶段:取指令阶段和执行指令阶段。取指令阶段的操作时间称为指令的取指周期;执行指令阶段的操作时间称为指令的执行周期。虽然指令代码和数据都以二进制形式存放在存储器中,但控制器只在取指周期控制取指令操作,而在执行周期控制取数据操作,所以指令和数据之间不会产生混淆。

通常,将运算器和控制器合在一起称为计算机的中央处理器(CPU),也称中央处理机,而将CPU和主存合起来称为计算机的主机。主机以外的其他组成部分,都属于计算机的外围设备或输入输出设备。

输入输出设备是计算机的外围设备,是计算机系统与其使用者——人进行交流必不可少的设备。输入设备的作用是将人所熟悉的各种信息形式(如文字、符号、图形、图像、声音等)转换成计算机所能识别和处理的二进制数字形式,并存入计算机的存储器。输出设备的作用则是将计算机内部的二进制数字信息转换成人能接受的信息形式,以便人能了解计算机的处理结果。需要指出的是,外部存储器也属于计算机的外围设备。

系统总线将上述计算机的各个组成部分连接在一起,实现各部分之间的信息传递。系统总线是一组信号线的集合,其中包含传递数据信息的数据总线、传递地址信息的地址总线和传递控制或状态信息的控制总线。系统总线主要是按计算机主机的信息传送要求来设计的,完全适应主机的信息传送速度、信息传送格式、信号种类及电气特性。但外围设备种类繁多,在信息传送速度、信息传送格式、信号种类及电气特性等方面与主机有很大差异,不能直接与系统总线相连。因此,外围设备需要通过专门的适配器(也称接口电路)与系统总线相连。适配器的作用就是进行速度缓冲、信息格式及信号转换等,使互连双方能够顺利实现信息传递。

## 1.2.2 计算机的主要性能指标

计算机的性能指标用于反映计算机在工作速度、处理能力和存储能力等方面的性能,主要有:

吞吐量。指一台计算机在某一时间间隔内能够处理的信息量。

响应时间。指从输入有效到系统产生响应之间的时间量度。

利用率。指在给定的时间间隔内,系统被实际使用的时间所占的比率。

处理机字长。指处理机运算器在进行二进制运算时,一个数据可以达到的最大位数。

总线宽度。一般指 CPU 中运算器与存储器之间进行互连的内部总线二进制位数。

存储器容量。存储器中所有存储单元的总数目,通常用 KB、MB、GB、TB 表示。

存储器带宽。单位时间内存储器所存取的信息量,通常使用位/秒或字节/秒为单位。

主频/时钟周期。CPU 的工作节拍受主时钟控制,主时钟是 CPU 内部一切工作的时间基准。主时钟的频率( $f$ )叫 CPU 的主频,主频的倒数称为 CPU 的时钟周期( $T$ )。

CPU 执行时间。指 CPU 执行一般程序所占用的 CPU 时间,有

$$\text{CPU 执行时间} = \text{CPU 时钟周期数} \times \text{CPU 时钟周期}$$

CPI。指执行一条指令所需的平均时钟周期数,有

$$\text{CPI} = \text{执行某段程序所需的 CPU 时钟周期数} \div \text{所执行的指令条数}$$

MIPS。每秒百万指令数,即单位时间内执行的指令数(以百万为单位),有

$$\text{MIPS} = \text{所执行的指令数} \div (\text{程序执行时间} \times 10^6)$$

MFLOPS。每秒百万浮点操作次数,即单位时间内执行的浮点操作次数(以百万为单位),用来衡量机器浮点操作的性能,有

$$\text{MFLOPS} = \text{程序中的浮点操作次数} \div (\text{程序执行时间} \times 10^6)$$

## 1.3 计算机的软件系统构成

### 1.3.1 计算机的语言

计算机是按人给它下达的任务来工作的,而人是通过将解题步骤编写成程序的形式来给计算机下达任务的。用来编写程序的符号系统就构成了人与计算机交流的语言——计算机语言。

由于计算机是一种数字逻辑设备,它只能识别用二进制代码表示的信息,所以,最初的计算机语言是直接用二进制代码来表述的,这就是机器语言。机器语言的基本要素是机器指令(简称指令),每条指令用于给计算机下达一个基本操作任务,一个复杂的解题任务需要按一定的顺序执行多条指令才能完成。这种按一定顺序排列起来的指令序列就是程序。

机器语言的优点是程序执行速度快、占用存储空间小;缺点是语言难以掌握、程序调试和排错困难、需要掌握较多硬件知识。为了便于掌握和使用,人们将机器语言符号化,产生了汇编语言。汇编语言使用一些人容易掌握和使用的符号来表示每条指令,使编程和调试更加方便。但汇编语言的符号系统计算机不能直接理解。所以,需要一个转换器来将汇编语言程序转换成机器语言程序,这个转换器叫做汇编程序。

由于汇编语言与人所使用的自然语言之间仍然存在很大的语义差距,用汇编语言描述一些较为复杂的任务仍很困难。为此,人们又创造了多种高级计算机语言(简称高级语言)。目前常用的高级语言都以英语为基础,使用一些英语语句和单词来描述复杂的程序控制结构及处理功能,增强了对解题算法的描述能力,更接近人们的语言习惯,并且基本上不直接涉及计算机硬件概念,所以更容易掌握和使用。用任何一种高级语言编写的程序,都必须转换成机器语言程序,才能被计算机执行。完成这种转换任务的是一种特殊的程序——编译程序,每种高级语言都要配备自己的编译程序。

### 1.3.2 计算机的软件

计算机软件是各种计算机程序的统称。计算机的硬件系统使计算机有了工作的条件和能力,但计算机没有生命和意识,它不可能自主工作,而要靠人通过程序的形式为它安排好工作任务,它才能被动地按程序规定的步骤进行工作。所以说,计算机的任何工作都离不开软件的支持。完整的、实际可工作的计算机系统,是计算机硬件系统和计算机软件系统有机结合的整体。

计算机软件一般分为两大类,即系统软件和应用软件。

应用软件是人们为了用计算机完成一些具体工作而编写的程序,如科学计算程序、数据处理程序、自动控制程序、信息管理程序、工程设计程序等。应用软件在运行之前,需要从所用的某种语言转换为机器语言;在调试过程中,需要面对成千上万条指令进行查错和排错;在运行过程中,需要大量涉及对各种硬件资源如存储器、输入输出设备等的使用。如果所有这些工作都由应用软件设计者亲力而为,将极大地增加应用软件的设计难度和设计者的工作强度,也不能让设计者将精力集中在解决具体的应用问题上。为此,人们设计了各类工具软件来让计算机帮助自己完成这些繁杂的工作,这些工具软件统称为系统软件。

系统软件包括:

(1) 操作系统。操作系统是计算机最基本、最重要的系统软件,它负责管理和分配计算机系统的资源(如处理器、存储器、输入输出设备等)。有了操作系统,其他程序的设计者只需在程序中按规定的方式提出对系统资源的使用要求(如内存分配、输入、输出等),操作系统就能帮助他实现对所需资源的操作,无须他亲自处理对资源操作的细节。在支持多任务的计算机系统中,多个作业或进程竞争处理器,也是由操作系统完成调度的。

(2) 各种服务性程序,如诊断程序、排错程序等,用来帮助人们进行计算机系统故障的诊断,以及软件的调试与排错等。

(3) 编译程序、解释程序、汇编程序等,用来将高级语言程序或汇编语言程序转换为机器语言程序。

(4) 数据库管理系统,用于帮助人们建立、管理、维护和使用各种数据文件。

显然,有了这些系统软件的帮助,人们可以更加方便、高效地使用计算机,也可以让计算机更好地发挥出它的功能和潜力。

## 1.4 计算机系统的层次结构特征

计算机系统是一个硬件和软件结合在一起的复杂系统。跟计算机打交道的人既有计算机的设计者,也有计算机的使用者,他们对计算机系统的认识程度是不一样的。即使同为计算机的使用者,由于工作的领域不同、使用计算机的功能不同或采用的程序设计语言不同,也会对计算机系统产生不同的认识。因此,人们对计算机系统的认识有着明显的层次特征,即在不同层次的人眼里,计算机系统有着不同的作用和组成,这就使同一个计算机系统有了多个层次的结构特征,如图 1.2 所示。





图 1.2 计算机系统层次结构

第0层是硬件设计与维护人员眼中的计算机,也就是计算机的硬件系统。它采用硬联逻辑实现,是计算机的硬件内核,也是计算机一切工作的基础。

第1层是微系统结构计算机,它通过微程序,控制信息在各部件之间的传送,以提供各种机器指令所需要的操作控制。这一层的工作是建立在第0层的硬件实体之上的,需要设计者对计算机硬联逻辑的所有细节都十分熟悉才行。因此,这一层的逻辑设计员与第0层的硬件设计员通常是同一层的人员。

第2层是机器语言程序员眼中的计算机,也就是实现机器指令系统功能的机器。机器指令能直接由控制器识别,但机器指令本身只描述操作要求及操作对象,并不直接完成操作控制,具体的操作控制由第1层的微程序来实现。这一层的机器语言程序员无须了解硬联逻辑及其控制细节,只需掌握机器语言的各种组成成分及使用方法即可。

第3层是操作系统机器,是操作系统命令使用者(即操作员)眼中的计算机,它可以被看作各种操作系统命令的解释器。操作系统命令的功能是用第2层的机器指令编程实现的。这一层上的操作员只需掌握各种操作系统命令的使用方法,无须了解其下各层机器的结构及实现细节。

第4层是汇编语言程序员眼中的计算机,也就是汇编语言的解释器。汇编语言指令与机器语言指令之间虽然有着对应关系,但汇编语言指令不能直接为控制器识别,需要通过汇编程序将其转换成对应的机器指令才行,而汇编程序的运行需要操作系统的支持。可见,这一层上的工作需要其下各层的支持才能完成。这一层的汇编语言程序员需要掌握寄存器、地址、寻址方式、I/O 端口等一些硬件系统的概念,但无须了解其下各层机器的结构及实现细节。

第5层是高级语言程序员眼中的计算机,也就是高级语言的解释器。用高级语言编写的程序需要转换成机器语言程序才能执行,这种转换工作是由各种高级语言的编译程序来完成的。编译程序的运行需要操作系统的支持。这一层的高级语言程序员基本不需要计算机硬件知识,他只要用某种高级语言编写出解题程序并输入计算机,其他工作就在其下各层机器的支持下自动完成了。

从学科领域来划分,大致可以认为第0层至第2层是计算机组织与结构讨论的范畴,第3层以上则是纯软件的范畴。除第0层和第1层直接面对的是计算机的硬件实体外,其他各级机器均由软件实现,称为虚拟机器。第2层的地位是比较特殊的,它处于计算机硬件和软件的交界面。也就是说,计算机的硬件系统是围绕着实现机器语言指令系统的功能而设