

高等院校信息技术规划教材

计算机组成原理 实用教程(第3版)

王万生 彭雅琴 编著

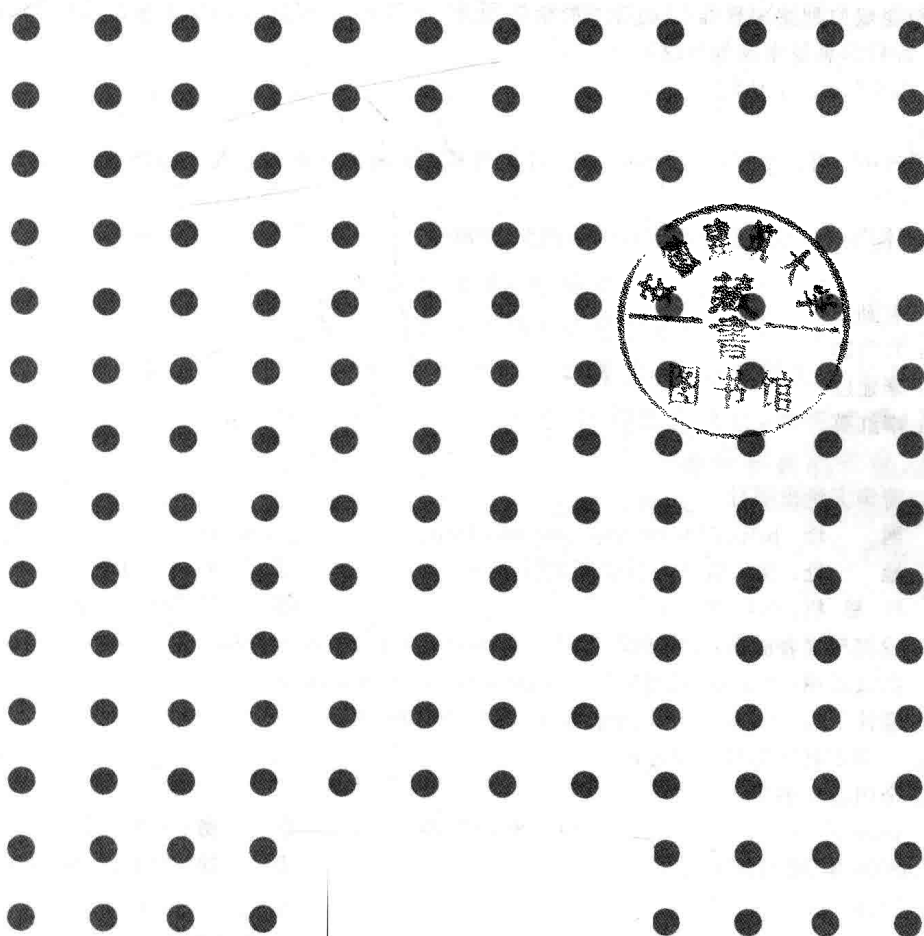


清华大学出版社

高等院校信息技术规划教材

计算机组成原理 实用教程(第3版)

王万生 彭雅琴 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书主要是针对普通院校计算机应用专业的学生编写的。全书共分9章,第1章主要介绍计算机系统的组成、计算机的发展历史及计算机的应用;第2章主要讲解信息的数字化表示,重点讨论数值数据的原码、补码和反码表示方法,非数值数据的表示方法;第3章介绍运算器的作用及实现,重点讨论定点数的加法器、乘法器、除法器的设计方法;第4章介绍存储器工作原理与存储器体系结构,重点讨论半导体存储器和磁存储器的工作原理,存储器体系结构及解决的问题;第5章介绍计算机指令系统,重点讨论指令结构及寻址方式;第6章介绍CPU的组成和作用,重点介绍组合逻辑控制器和微程序控制器的实现;第7章介绍总线及总线互连结构;第8章介绍常用外设的作用与工作原理;第9章介绍输入输出系统,重点讨论中断与DMA工作方式。

本书适合计算机类各专业(计算机科学与技术、软件工程、网络工程)本科学生使用。

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

计算机组成原理实用教程/王万生,彭雅琴编著. —3版. —北京:清华大学出版社,2018
(高等院校信息技术规划教材)
ISBN 978-7-302-50013-1

I. ①计… II. ①王… ②彭… 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(2018)第081990号

责任编辑:袁勤勇

封面设计:常雪影

责任校对:李建庄

责任印制:李红英

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:三河市君旺印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:16.75

字 数:390千字

版 次:2006年10月第1版 2018年10月第3版

印 次:2018年10月第1次印刷

定 价:39.00元

产品编号:076333-01

第3版前言 foreword



计算机组成原理课程讲解的主要内容

《计算机组成原理实用教程》自2006年11月首版和2011年7月再版以来,累计发行2万多册。根据前两版各兄弟院校使用情况和课堂教学的实际使用效果,结合近几年计算机硬件技术的发展,现对第2版的内容进行修订和补充。本次修订在保持前两版特色的基础上,重点突出以下几点:

(1) 从2009年开始,“计算机组成原理”已成为计算机学科各专业考研的专业基础课程的统考课程(另外3门课程是“操作系统原理”“数据结构”和“计算机网络”)。第3版在内容的安排上覆盖了考研大纲对“计算机组成原理”课程所有知识点的要求。

(2) 计算机系统是非常复杂的,学生在学习过程感觉比较难,不是难在对具体内容的理解上,而是难在为什么要这样处理。例如,计算机为什么要采用二进制,加法运算为什么要采用补码;而不是如何将十进制转换成二进制、补码如何求的具体方法上。因此,本书在内容的组织上采用从整体(发明计算机的目的是什么,作为一个自动、连续、高速、准确的电子计算工具,计算机应该包括哪些功能部件)到局部(每一个功能部件的作用是什么,如何实现)再到整体(这些功能部件如何组合在一起构成完整的计算机系统,如何提高计算机整体性能指标等)的过程进行编写。本书的编写思想就是将复杂的问题简单化,引导学生用简单的方法、现成方法和工具解决复杂的问题,以要解决什么问题→解决问题的具体方法→影响性能指标的因素和提高性能指标的方法为主线介绍计算机系统的组成、工作原理和体系结构。这种提出问题→分析问题→解决问题的思路以人为本,可以让读者很自然地融入学习内容中,在学习过程中主动思考解决问题的方法,将被动地接受知识变成主动获取知识,使学习过程不再枯燥无味。

(3) 突出重点、分散难点。在章节的组织上,保持每章解决一个核心问题,然后再将问题进一步延伸,自然过渡到下一章。在每章的开始提出问题的由来和要讲解的主要内容,通过例题、动画(在课堂教学中)加深对重点、难点内容的理解。在具体问题的解决上,首先

从最简单的方法入手(功能实现),然后再对该方法进行剖析,指出其不足之处,再引出新的方法。实践证明,这种由浅入深、由表入里、循序渐进的方式对培养学生的逻辑思维能力、学习能力以及分析问题、解决问题的能力是非常有益的。同时,为了能使学生更好地理解和掌握各章的内容,本版针对每章的难点和重点知识增加了大量例题和对例题中的问题进行详细分析的过程,方便学生课后复习。

(4) 更新部分内容,如增加了触摸屏技术、LED显示器的工作原理、以闪存为基础的固态硬盘 SSD、cache 的地址映射和地址转换的具体实现等内容。同时,对部分已经落后的技术在内容上做了删减,如光存储技术。

(5) 更新了每章后面的习题,使习题的内容更贴近教材的内容,通过习题练习,加深学生对课堂教学内容的理解。

(6) 为课堂教学配套了立体化教学资源:全部习题的参考解答;经过多年课堂教学实践并不断完善的课堂教学 PPT 讲稿;大量原创的 Flash 动画(运算器的运算过程、各种不同寻址方式的寻址过程、指令执行流程等);多媒体课件(第九届全国多媒体课件大赛获奖课件)。读者可以登录清华大学出版社网站下载。

第3版作者中增加了彭雅琴副教授。第1、2、3章以及每章后面的习题均由彭雅琴副教授负责编写,同时彭雅琴副教授还负责对全书内容进行了审核和校对。

因水平所限,书中的不足之处在所难免,希望读者和同行专家批评指正。

作者

2018年2月

目录

Contents

第 1 章 计算机系统概论	1
1.1 计算机的发展状况	1
1.1.1 计算机的定义	1
1.1.2 计算机的发展	2
1.1.3 微处理器的发展	3
1.2 计算机系统的组成	4
1.2.1 计算机硬件系统	5
1.2.2 PC 的基本结构	7
1.2.3 计算机软件系统	8
1.3 计算机的应用	10
1.4 计算机系统的层次结构	12
1.5 计算机的主要性能指标	13
习题 1	14
第 2 章 计算机中信息的表示方法	17
2.1 概述	17
2.2 数值数据的机内表示方法	18
2.2.1 数值数据在机内的表示	18
2.2.2 进位计数制及相互转换	18
2.2.3 数的符号表示	22
2.2.4 数的小数点表示	25
2.2.5 十进制数据的表示	28
2.3 非数值数据的表示	30
2.3.1 逻辑数据	30
2.3.2 字符编码	30
2.3.3 汉字编码	31
2.3.4 图像(图形)的数字表示	33

2.3.5	语音的计算机表示	33
2.3.6	校验码	34
习题 2	35
第 3 章	运算方法和运算器	39
3.1	定点数的加法、减法运算	39
3.1.1	补码加、减法所依据的关系	39
3.1.2	补码加、减法运算规则	40
3.1.3	溢出的概念及检测方法	41
3.2	二进制加法器	43
3.2.1	半加器	43
3.2.2	全加器	43
3.2.3	加法器	44
3.2.4	十进制加法器	48
3.3	定点数的乘、除法运算	48
3.3.1	移位操作	48
3.3.2	原码一位乘法	49
3.3.3	阵列乘法器	52
3.3.4	定点除法运算	52
3.4	逻辑运算	57
3.4.1	逻辑与	57
3.4.2	逻辑或	57
3.4.3	逻辑异或	57
3.4.4	逻辑非	57
3.5	定点运算器的组成	58
3.5.1	定点运算器的基本结构	58
3.5.2	集成多功能算术/逻辑运算器	59
3.6	浮点数运算	60
3.6.1	浮点数的加、减法	60
3.6.2	浮点数的乘、除法运算	62
习题 3	63
第 4 章	存储器系统	66
4.1	存储器概述	66
4.1.1	基本概念	66
4.1.2	存储器分类	67
4.1.3	存储器的性能指标	68

4.2	半导体存储器	69
4.2.1	半导体存储器概述	69
4.2.2	RAM 存储原理	72
4.2.3	半导体 RAM 芯片	74
4.2.4	半导体 ROM 的工作原理	77
4.3	存储器的组织	80
4.4	辅助存储器	83
4.4.1	磁表面存储器	83
4.4.2	硬磁盘存储器	86
4.4.3	光盘存储器	91
4.4.4	固态硬盘	92
4.5	存储体系的概述	93
4.6	cache 工作原理简介	95
4.6.1	cache 的引入	95
4.6.2	cache 工作原理	96
4.6.3	主存—cache 地址变换的地址映射	97
4.6.4	替换算法	102
4.6.5	主存—cache 内容的一致性问题	104
4.6.6	cache 结构举例	104
4.7	虚拟存储器的概念	105
4.8	存储器的校验方法	106
	习题 4	107
第 5 章	指令系统	112
5.1	概述	112
5.2	机器指令	114
5.2.1	机器指令格式	114
5.2.2	操作数类型和存储方式	117
5.2.3	指令类型	118
5.2.4	指令助记符	119
5.3	寻址方式	120
5.3.1	指令的寻址方式	120
5.3.2	操作数的寻址方式	120
5.4	RISC 技术	124
5.4.1	复杂指令 CISC 计算机	124
5.4.2	RISC 技术的产生	125
5.5	MMX 技术	125
	习题 5	127



第 6 章 中央处理机的组织	130
6.1 CPU 的功能	130
6.2 CPU 的基本组成	131
6.2.1 运算部件	131
6.2.2 寄存器设置	131
6.2.3 时序部件	132
6.2.4 控制单元	136
6.3 指令的执行过程	137
6.3.1 模型计算机的总体结构	137
6.3.2 模型机的指令系统	140
6.3.3 时序系统	141
6.3.4 指令执行流程	142
6.3.5 指令的微操作控制信号序列	145
6.4 组合逻辑控制器的设计	151
6.5 微程序控制器的设计	154
6.5.1 微程序控制的基本原理	154
6.5.2 微程序设计技术	159
6.6 CPU 性能设计	164
习题 6	168
第 7 章 总线及总线互连结构	172
7.1 总线的基本概念	173
7.1.1 总线的特性	173
7.1.2 总线的类型	174
7.1.3 系统总线的组成	174
7.1.4 总线的数据传输方式	175
7.2 总线的设计要素	177
7.2.1 信号线类型	177
7.2.2 仲裁方法	177
7.2.3 定时方式	180
7.2.4 总线事务类型	183
7.2.5 总线带宽	184
7.3 总线接口单元	184
7.4 总线性能指标	185
7.5 总线标准及发展过程	185
7.6 总线结构	193

7.6.1	总线结构的物理实现	193
7.6.2	总线结构	193
7.6.3	多总线分级结构举例	195
习题 7		199
第 8 章	输入输出设备	202
8.1	外设的分类与特点	202
8.1.1	外设的分类	202
8.1.2	外设的特点	203
8.2	输入设备	204
8.2.1	键盘	204
8.2.2	鼠标器	205
8.2.3	触摸屏	208
8.3	输出设备	209
8.3.1	打印机	210
8.3.2	显示设备	215
习题 8		222
第 9 章	输入输出系统	224
9.1	I/O 接口	224
9.1.1	I/O 接口的功能	224
9.1.2	I/O 接口的基本组成	225
9.1.3	接口的分类	226
9.2	I/O 设备的寻址	228
9.3	I/O 数据传输控制方式	230
9.4	程序直接控制的数据传输方式	231
9.5	程序中断控制数据传输	232
9.5.1	中断的基本概念	232
9.5.2	中断结构	236
9.5.3	中断响应及响应的条件	239
9.5.4	向量中断	241
9.5.5	中断服务处理	242
9.6	直接存储器访问方式	243
9.6.1	直接存储器访问	243
9.6.2	DMA 的特点	243
9.6.3	DMA 三种工作方式	244
9.6.4	DMA 控制器的组成	244



9.6.5 DMA 操作过程	246
9.6.6 中断方式与 DMA 方式的区别	247
9.7 通道和 I/O 处理器方式	248
9.7.1 通道控制方式	248
9.7.2 输入输出处理机	249
9.8 常用标准接口举例	250
习题 9	254
参考文献	258

计算机系统概论

自1946年2月15日第一台计算机ENIAC(Electronic Numerical Integrator and Computer,电子数字积分计算机)诞生以来,计算机技术发生了翻天覆地的变化,计算机在各个领域得到了广泛的应用,特别是随着移动互联网的高速发展,可以说计算机已经深入我们生活的每个角落。那么,究竟什么是计算机?一个完整的计算机系统由哪些部分组成?各部分的作用是什么?计算机是如何工作的?本书将给出这些问题的答案。

本章主要讨论以下问题:

(1) 什么是计算机?发明计算机的最初目的是什么?

(2) 一个完整的计算机硬件系统应该包括哪些功能部件?各功能部件的主要作用是什么?这些功能部件是如何相互连接协调工作的?

(3) 计算机软件有什么作用?软件是如何驱动硬件工作的?

(4) 计算机的发展历史及计算机在不同领域的主要应用。

(5) 冯·诺依曼计算机体系结构的特点及计算机发展需要突破的方向。

(6) 计算机主要性能指标。

1.1 计算机的发展状况

1.1.1 计算机的定义

为了将人从复杂的计算事务中解脱出来,各国科学家迫切希望能有一个高速、自动、准确的计算工具代替手工计算。很多科学家都对此进行了研究,其中最突出的是美国科学家阿塔纳索夫(Atanasoff)教授和他的学生贝里(Berry),莫克利(J. W. Mauchly)教授和他的学生艾克特(J. P. Eckert),冯·诺依曼教授(John von Neumann)等。他们最终成功地研制出具有实用价值的计算机ABC(Atanasoff-Berry Computer)和ENIAC。

定义: 电子计算机是一种能够存储程序、自动连续地执行程序,对各种数字信息进行算术运算和逻辑运算的快速电子工具。

计算机就是一个电子计算工具。发明计算机的人的最初目的就是将人从繁重、复杂的计算活动中解脱出来。这个计算工具不同于我们中国的算盘,它具有自动、连续、高速、准确等特点。为了实现自动连续的计算,必须根据计算步骤来编写操作流程,然后存

储该操作流程,并根据操作流程自动完成计算。

所以,用计算机解决问题,必须根据一定的算法编写程序,并以文件的形式存储程序,然后通过执行程序完成对信息的处理和加工。程序是实现一定算法的指令集合,指令是指挥计算机硬件完成某一功能的命令。通常,普通用户使用计算机实际上就是按照文件名运行一个具体程序,然后计算机将运行的结果通过输出设备告诉用户。

1.1.2 计算机的发展

世界上第一台计算机由美国宾夕法尼亚大学莫尔学院电机系莫克利教授和他的学生艾克特及同事共同研制,取名 ENIAC。它采用十进制运算,共使用 18 000 多个电子管,1500 个继电器,运行时耗电 150kW,占地面积约 140m²,重 30t,每秒可以完成 5000 多次加法运算和 50 次乘法运算,可以进行平方和立方运算以及 sin 和 cos 函数运算。ENIAC 从诞生到 1955 年 10 月 2 日,10 年间共运行了 80 223h。

计算机的发展史常以器件来划分(不要和微处理器的发展混淆)。通常可以划分为以下几个时代。

1. 第一代电子计算机

第一代计算机为电子管计算机(1946—1957)。它是将电子管和继电器存储器用绝缘导线互连在一起,组成单个 CPU,CPU 用程序计数器和累加器完成定点运算,采用机器语言或汇编语言,CPU 用程序控制 I/O 设备。此时,软件一词尚未出现。其特点:体积大,速度慢($10^4/s$,即每秒钟运算次数为 10^4 ,下同),功耗大,存储器容量小。典型产品有 ENIAC、IAS 和 IBM701。

2. 第二代电子计算机

第二代计算机为晶体管计算机(1958—1964)。它采用晶体管组成更复杂的算术逻辑部件和控制单元,存储器由磁芯构成,实现了浮点运算,并且提出了变址、中断、I/O 处理等新概念。软件也得到了相应发展,出现了高级语言编程,为计算机提供了系统软件。其特点:比第一代计算机体积小,速度快($10^5/s$),功耗低,可靠性高。典型产品有 IBM7094、CDC1604、DEC 公司的 PDP-1 计算机。

3. 第三代电子计算机

第三代计算机为小、中规模集成电路计算机(1965—1971)。单个封装的晶体管称分立元件。分立元件分开制造,封装在自己的容器中,然后再焊接到电路板上。第三代早期计算机大约包含 10 000 个晶体管,后来达数十万个。集成电路制造技术是利用光刻技术把晶体管、电阻、电容等构成的单个电路制作在一块芯片上。使用集成电路制造的电子计算机称集成电路计算机。这期间,因受半导体制造技术的限制,集成电路的规模较小,通常称为小规模集成电路(Small Scale Integration, SSI)或中规模集成电路(Middle Scale Integration, MSI)。其主要特点:开始采用微程序控制、流水线、高速缓存、虚拟存储器、先行处理技术等;软件采用多道程序设计和分时操作系统。典型产品有 IBM 公司

的 System/386 和 DEC 公司的 PDP-8 等。

4. 第四代电子计算机

第四代计算机为大规模、超大规模、极大规模、甚大规模集成电路计算机(1972 年至今)。随着大规模集成电路与微处理技术的长足进步,大规模(Large Scale Integration, LSI)、超大规模(Super Large Scale Integration, SLSI)、极大规模(Ultra Large Scale Integration, ULSI)和甚大规模(Very Large Scale Integration, VLSI)集成电路成为计算机的主要部件,计算机的运行速度越来越快。并行处理技术的研究与应用以及众多巨型机的产生是这个阶段的一大特点。另一个特点就是计算机网络的发展及广泛应用,20 世纪 90 年代计算机与通信技术的高速发展与密切结合,掀起了网络热。大量计算机通过互联网相连,大大扩展和加速了信息的流通,增强了社会的协调与合作能力,使计算机的应用方式由个人计算方式向分布式和群集式计算发展,计算机不再是单纯的电子计算工具,还是媒体传输的终端设备。另外,随着后 PC 时代的到来,消费电子、计算机、通信(Consumption、Computer、Communications, 3C)一体化趋势日趋明显,数字化社会的呼声使嵌入式系统(Embedded System)日益受到市场和厂家的关注,嵌入式设备越来越普及。特别是移动互联网的高速发展,使计算机成为人们日常生活不可或缺的必需品。同时,软件技术也得到了极大发展,高级程序编程、网络操作系统、个人计算机操作系统、网络数据库技术都得到了极大发展。多进程和多线程编程以及软件工程越来越受到人们的重视。

除了主要器件采用 VLSI 这一显著特点外,微处理器技术的发展也是计算机发展史上的里程碑式事件,从 1971 年 Intel 公司的 4 位微处理器 4004 到现在的 64 位的多核处理器 i3、i5、i7,计算机应用也从大型实验室和研究部门走进了家庭。

5. 新一代计算机

目前,计算机技术仍然使用硅材料组成的半导体器件,计算机的基本结构仍然遵循冯·诺依曼体系结构(指令驱动的串行计算机,对现实世界中的大量并行处理具有先天不足)。新一代计算机正寻求速度更快、功能更强的全新元器件,如神经元、生物芯片、超导材料、量子芯片等。计算机的基本结构试图突破冯·诺依曼结构体系,采用自然语言为计算机的逻辑推理语言,使计算机具有更多的智能,如深蓝(Deep Blue)和阿尔法狗(AlphaGo)等。

1.1.3 微处理器的发展

在计算机发展过程中,有两项技术对计算机发展起了重要作用:微处理器技术和半导体存储器技术。早期存储器采用的是铁磁环,1970 年仙童(Fairchild)公司利用集成电路技术生产出第一个半导体存储器芯片(256 位二进制信息),从此开创了半导体存储器技术发展的新天地。从 1970 年开始,随着微电子技术的发展,半导体存储容量越来越大,速度越来越快,价格也越来越便宜,这为运行大规模软件提供了物质基础。另外,微处理器技术的发展使计算机的功能越来越强,速度越来越快。表 1-1 是 Intel 公司早期

CPU(Central Processing Unit,中央处理单元)的主要性能表。

表 1-1 Intel 公司主要 CPU 的性能表

年代	芯片名	集成度(晶体管)	主频时钟/MHz	线宽/ μm	数据总线/位	地址总线/位
1971	4004	2000	2	2	4	
1974	8080	8000	4	1.5	8	20
1978	8086	3 万	5~8	1.5	16	20
1984	80286	13 万	10	1~1.5	16	24
1985	80386	27 万	33	1~1.5	32	32
1989	80486	100 万	35~40	1	32	32
1993	Pentium 586	300 万	60~150	0.6	64(32 位处理器)	32
1995	Pentium Pro	550 万	150~200	0.6	64(32 位处理器)	32
1997	Pentium II	750 万	300~450	0.35	64(32 位处理器)	32
1999	Pentium III	800 万	600~1000	0.25	64(32 位处理器)	32
2000	Pentium 4	1000 万	1400	0.18	64(32 位处理器)	32

随后,Intel 公司于 2005 年推出双核 CPU Pentium D,2006 年推出双核 CPU Core 2,2011 年推出了 Core i3、Core i5、Core i7 多核 CPU。目前,CPU 的主频已达到 4GHz,线宽也突破了 16nm。64 位四核、八核 CPU 也已商业化。

1.2 计算机系统的组成

一个完整的计算机系统包括硬件和软件两部分。图 1-1 所示为计算机系统的组成。

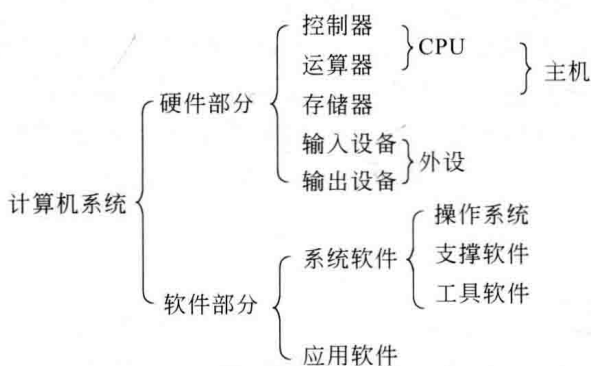


图 1-1 完整的计算机系统

硬件部分:构成计算机的所有物理部件的集合,是能看得见摸得着的物理实体,如 CPU、内存、硬盘、主板、显示器、键盘、鼠标、机箱和电源等。硬件是计算机系统的物质基础。

软件部分：为运行、维护、管理计算机以及使用计算机时所编制的所有程序的总和。软件必须在硬件的支持下才能运行。没有软件的计算机称为“裸机”。软件的作用在计算机系统中越来越重要。

硬件是计算机系统的物质基础，是计算机的躯体，软件是计算机的头脑和灵魂，只有将两者有效地结合起来，计算机系统才能有生命力，整个计算机系统的好坏，取决于软硬件功能的总和。

1.2.1 计算机硬件系统

为了告诉计算机做什么事、按什么步骤去做，需要事先编制程序（由计算机指令组成的序列），然后把编制好的程序和原始数据预先存入计算机的主存储器。计算机在工作时连续、自动、高速地从存储器中取出一条条指令并加以执行。存储程序的概念最早是由美籍匈牙利数学家冯·诺依曼教授于1946年提出的。其基本思想是：

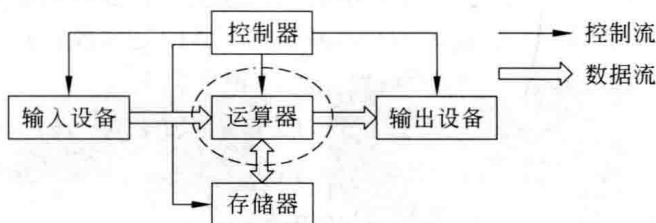
(1) 采用二进制形式表示数据和指令。

(2) 采用存储程序的工作方式。

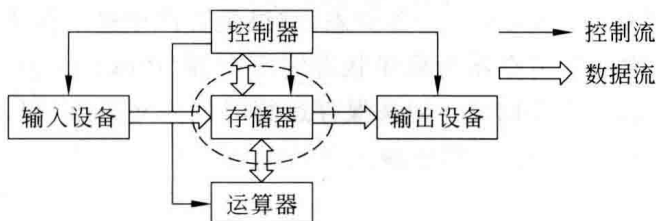
(3) 由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备五大功能部件组成计算机硬件系统，并规定了这五部分的基本功能作用。

冯·诺依曼计算机的这种存储程序工作方式，称为指令（控制流）驱动方式，即按照指令的执行序列，依次读取指令，根据指令所含的控制信息，调用数据进行处理。这种计算机从根本上讲是采取串行顺序处理机制、逐条执行指令的单处理机结构体系。在现实世界中，对某一具体问题只要可以找出解决该问题的相应算法，就可以编制有效的计算程序，该问题就可以在计算机上解决。

半个多世纪以来，计算机技术发生了很大的变化，但计算机的基本组成仍然遵循冯·诺依曼计算机的体系结构。图1-2所示为计算机的硬件组成框图。



(a) 经典的冯·诺依曼计算机硬件结构图



(b) 以存储器为中心的计算机硬件结构图

图 1-2 计算机的硬件组成框图

由于经典的冯·诺依曼计算机硬件结构是以运算器为中心的,所有的输入、输出操作都要经过运算器,所以计算效率低下。现代计算机已采用图 1-2(b)所示以存储器为中心的结构。

1. 控制器

控制器(Controller)是计算机的核心部件,它指挥计算机各部件自动、协调地工作,即控制计算机自动执行程序。控制器的核心部件是控制单元(Control Unit, CU),它产生计算机工作时需要的各种控制信号。除了控制单元,控制器中还包括:

1) 程序计数器

程序计数器(Program Counter, PC)或指令指针(Instruction Pointer, IP)用来存放将要执行的下一条指令的地址,除非遇到转移指令,否则,CPU 每次从内存取出指令之后,总是自动地将 PC 值加上一个增量(该增量为当前所取指令占用的内存单元数)。程序计数器始终保持指向下一条要执行指令的地址,这就保证了程序自动连续地运行。

2) 指令寄存器

从内存中读出的指令存放在指令寄存器(Instruction Register, IR)中,然后由指令译码器进行译码。为了提高计算机的并行操作能力,现代计算机 CPU 中的指令寄存器已经不是一个而是一组。

3) 指令译码器和控制单元

指令译码器(Instruction Decode, ID)对指令寄存器中的指令进行译码,并将译码结果输送给控制单元,控制单元产生执行该指令的各种微操作命令序列,用于控制所有的被控对象,完成指令的功能。

2. 运算器

运算器(Arithmetic unit)是用来加工和处理信息(算术运算和逻辑运算)的功能部件,主要由算术逻辑运算单元(Arithmetic Logic Unit, ALU)和各种寄存器组成。

早期控制器和运算器是分开制造的,现在已经把它们集成在一个芯片上,这个芯片就是中央处理单元(Central Processing Unit, CPU)。如 Intel 公司 80x 系列的 8086/8088/80286/80386/80486/Pentium (80586)/Pentium Pro/Pentium II/Pentium III/Pentium 4 等,AMD 公司的 Athlon 系列、Duron 系列等。

除此以外,CPU 中还包括标志寄存器 FLAG,用来指示指令执行结果的标志,常用标志包括结果是否为零标志、结果是否为负标志、结果是否产生进位标志、结果是否溢出标志等。有的 CPU 也称标志寄存器为程序状态字寄存器(Program Status Word, PSW)。另外,CPU 中还包括暂存器 TEMP(用来保存运算时的中间结果)以及大量通用寄存器 Rn 等。

3. 主存储器

主存储器(Main Memory)又称内存,用来存放正在运行的程序和数据,主存可以与 CPU 直接交换信息。将 CPU 和主存储器合在一起就是常说的主机。