



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

计算机组成原理

Jisuanji Zucheng Yuanli

(第3版)

唐朔飞 编著

高等教育出版社·北京

内容提要

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。本书第1版被列为“面向21世纪课程教材”,是教育部高等学校计算机科学与技术教学指导委员会组织编写的“体系结构—组成原理—微机技术”系列教材之一,是2005年国家精品课程主讲教材,于2002年获普通高等学校优秀教材二等奖。

本书通过对一台实际计算机的剖析,使读者更深入地理解总线是如何将计算机各大部件互连成整机的。全书共分为4篇,第1篇(第1、2章)介绍计算机的基本组成、发展及应用;第2篇(第3~5章)介绍系统总线、存储器(包括主存储器、高速缓冲存储器和辅助存储器)和输入输出系统;第3篇(第6~8章)介绍CPU的特性、结构和功能,包括计算机的算术逻辑单元、指令系统、指令流水、RISC技术及中断系统;第4篇(第9、10章)介绍控制单元的功能和设计,包括时序系统以及采用组合逻辑和微程序设计控制单元的设计思想与实现措施。每章后均附有思考题与习题。

本书概念清楚,通俗易懂,书中举例力求与当代计算机技术相结合,可作为高等学校计算机专业教材,也可作为其他科技人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理 / 唐朔飞编著. -- 3版. -- 北京: 高等教育出版社, 2020.10

ISBN 978-7-04-054518-0

I. ①计… II. ①唐… 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(2020)第114422号

策划编辑 时阳
责任校对 胡美萍

责任编辑 时阳
责任印制 刁毅

封面设计 于文燕

版式设计 杨树

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印刷 河北鹏盛贤印刷有限公司
开本 787 mm×1092 mm 1/16
印张 27.75
字数 610千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>
<http://www.hepmall.com>
<http://www.hepmall.cn>
版 次 2000年7月第1版
2020年10月第3版
印 次 2020年12月第2次印刷
定 价 50.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物料号 54518-00

目 录

第 1 篇 概 论

第 1 章 计算机系统概论	3	2.1 计算机的发展史	20
1.1 计算机系统简介	3	2.1.1 计算机的产生和发展	20
1.1.1 计算机的软硬件概念	3	2.1.2 微型计算机的出现和 发展	23
1.1.2 计算机系统的层次结构	3	2.1.3 软件技术的兴起和发展	26
1.1.3 计算机组成和计算机 体系结构	7	2.2 计算机的应用	28
1.2 计算机的基本组成	8	2.2.1 科学计算和数据处理	28
1.2.1 冯·诺依曼计算机的特点	8	2.2.2 工业控制和实时控制	29
1.2.2 计算机的硬件框图	8	2.2.3 网络技术的应用	29
1.2.3 计算机的工作步骤	10	2.2.4 虚拟现实	31
1.3 计算机硬件的主要技术指标	16	2.2.5 办公自动化和管理信 息系统	32
1.3.1 机器字长	17	2.2.6 CAD/CAM/CIMS	33
1.3.2 存储容量	17	2.2.7 多媒体技术	34
1.3.3 运算速度	17	2.2.8 人工智能	34
1.4 本书结构	18	2.3 计算机的展望	35
思考题与习题	19	思考题与习题	38
第 2 章 计算机的发展及应用	20		

第 2 篇 计算机系统的硬件结构

第 3 章 系统总线	41	3.3 总线特性及性能指标	45
3.1 总线的基本概念	41	3.3.1 总线特性	45
3.2 总线的分类	43	3.3.2 总线性能指标	46
3.2.1 片内总线	43	3.3.3 总线标准	47
3.2.2 系统总线	43	3.4 总线结构	52
3.2.3 通信总线	44	3.4.1 单总线结构	52

3.4.2 多总线结构	52	5.1.2 输入输出系统的组成	157
3.4.3 总线结构举例	55	5.1.3 I/O 设备与主机的联系 方式	159
3.5 总线控制	57	5.1.4 I/O 设备与主机信息传 送的控制方式	161
3.5.1 总线判优控制	57	5.2 I/O 设备	165
3.5.2 总线通信控制	59	5.2.1 概述	165
思考题与习题	66	5.2.2 输入设备	166
第 4 章 存储器	68	5.2.3 输出设备	170
4.1 概述	68	5.2.4 其他 I/O 设备	181
4.1.1 存储器分类	68	5.2.5 多媒体技术	183
4.1.2 存储器的层次结构	70	5.3 I/O 接口	185
4.2 主存储器	72	5.3.1 概述	185
4.2.1 概述	72	5.3.2 接口的功能和组成	186
4.2.2 半导体存储芯片简介	74	5.3.3 接口类型	188
4.2.3 随机存取存储器	76	5.4 程序查询方式	189
4.2.4 只读存储器	88	5.4.1 程序查询流程	189
4.2.5 存储器与 CPU 的连接	91	5.4.2 程序查询方式的接口 电路	191
4.2.6 存储器的校验	100	5.5 程序中断方式	192
4.2.7 提高访存速度的措施	103	5.5.1 中断的概念	192
4.3 高速缓冲存储器	109	5.5.2 I/O 中断的产生	193
4.3.1 概述	109	5.5.3 程序中断方式的接口 电路	194
4.3.2 Cache—主存地址映射	117	5.5.4 I/O 中断处理过程	197
4.3.3 替换策略	122	5.5.5 中断服务程序的流程	198
4.4 辅助存储器	123	5.6 DMA 方式	200
4.4.1 概述	123	5.6.1 DMA 方式的特点	200
4.4.2 磁记录原理和记录方式	125	5.6.2 DMA 接口的功能和组成	202
4.4.3 硬磁盘存储器	129	5.6.3 DMA 的工作过程	205
4.4.4 软磁盘存储器	137	5.6.4 DMA 接口的类型	209
4.4.5 磁带存储器	141	思考题与习题	210
4.4.6 循环冗余校验码	144	附录 5A ASCII 码	212
4.4.7 光盘存储器	146	附录 5B BCD 码	214
思考题与习题	149	附录 5C 奇偶校验码	215
附录 4A 相联存储器	152		
第 5 章 输入输出系统	155		
5.1 概述	155		
5.1.1 输入输出系统的发展 概况	155		

第3篇 中央处理器

第6章 计算机的运算方法	219	7.1.2 指令字长	304
6.1 无符号数和有符号数	219	7.2 操作数类型和操作类型	304
6.1.1 无符号数	219	7.2.1 操作数类型	304
6.1.2 有符号数	219	7.2.2 数据在存储器中的存 放方式	305
6.2 数的定点表示和浮点表示	228	7.2.3 操作类型	306
6.2.1 定点表示	228	7.3 寻址方式	309
6.2.2 浮点表示	229	7.3.1 指令寻址	310
6.2.3 定点数和浮点数的比较	231	7.3.2 数据寻址	310
6.2.4 举例	231	7.4 指令格式举例	319
6.2.5 IEEE 754 标准	233	7.4.1 设计指令格式应考虑 各种因素	319
6.3 定点运算	234	7.4.2 指令格式举例	320
6.3.1 移位运算	234	7.4.3 指令格式设计举例	322
6.3.2 加法与减法运算	237	7.5 RISC 技术	325
6.3.3 乘法运算	243	7.5.1 RISC 的产生和发展	326
6.3.4 除法运算	258	7.5.2 RISC 的主要特征	329
6.4 浮点四则运算	269	7.5.3 RISC 和 CISC 的比较	332
6.4.1 浮点加减运算	269	思考题与习题	334
6.4.2 浮点乘除法运算	274	第8章 CPU 的结构和功能	337
6.4.3 浮点运算所需的硬件 配置	280	8.1 CPU 的结构	337
6.5 算术逻辑单元	280	8.1.1 CPU 的功能	337
6.5.1 ALU 电路	281	8.1.2 CPU 结构框图	338
6.5.2 快速进位链	283	8.1.3 CPU 的寄存器	338
思考题与习题	289	8.1.4 控制单元和中断系统	342
附录 6A 各种进位制	293	8.2 指令周期	342
6A.1 各种进位制的对应 关系	293	8.2.1 指令周期的基本概念	342
6A.2 各种进位制的转换	293	8.2.2 指令周期的数据流	344
附录 6B 阵列乘法器和阵列除 法器	296	8.3 指令流水	345
附录 6C 74181 逻辑电路	298	8.3.1 指令流水原理	346
第7章 指令系统	300	8.3.2 影响流水线性能的因素	348
7.1 机器指令	300	8.3.3 流水线性能	353
7.1.1 指令的一般格式	300	8.3.4 流水线中的多发技术	355
		8.3.5 流水线结构	357

8.4 中断系统	358	址的寻找	361
8.4.1 概述	358	8.4.4 中断响应	362
8.4.2 中断请求标记和中断 判优逻辑	360	8.4.5 保护现场和恢复现场	364
8.4.3 中断服务程序入口地		8.4.6 中断屏蔽技术	364
		思考题与习题	370
 第4篇 控 制 单 元			
第9章 控制单元的功能	375	10.2.3 微指令的编码方式	407
9.1 微操作命令的分析	375	10.2.4 微指令序列地址的 形成	408
9.1.1 取指周期	375	10.2.5 微指令格式	410
9.1.2 间址周期	376	10.2.6 静态微程序设计和动 态微程序设计	412
9.1.3 执行周期	376	10.2.7 毫微程序设计	413
9.1.4 中断周期	378	10.2.8 串行微程序控制和并 行微程序控制	413
9.2 控制单元的功能	379	10.2.9 微程序设计举例	414
9.2.1 控制单元的外特性	379	思考题与习题	420
9.2.2 控制信号举例	380	附录 10A PC 整机介绍	423
9.2.3 多级时序系统	385	10A.1 主板	423
9.2.4 控制方式	387	10A.1.1 主板的主要组成 部件	423
9.2.5 多级时序系统实例分析	389	10A.1.2 CPU 芯片及插座 (插槽)	424
思考题与习题	393	10A.1.3 内存条插槽	424
第10章 控制单元的设计	395	10A.1.4 扩展插槽	424
10.1 组合逻辑设计	395	10A.1.5 配套芯片和器件	424
10.1.1 组合逻辑控制单元 框图	395	10A.1.6 主板结构的改进	424
10.1.2 微操作的节拍安排	396	10A.2 芯片组	425
10.1.3 组合逻辑设计步骤	401	10A.2.1 芯片组的功能	425
10.2 微程序设计	403	10A.2.2 芯片组的组成	426
10.2.1 微程序设计思想的 产生	403		
10.2.2 微程序控制单元框 图及工作原理	404		
参考文献	429		

第 1 篇 概 论

本篇主要介绍计算机系统的基本组成、应用与发展,并通过对本书结构的介绍,指出学习本书的基本思路。

第1章 计算机系统概论

本章主要介绍计算机的组成概貌及工作原理,旨在使读者对计算机总体结构有一个概括的了解,为深入学习后面各章打下基础。

1.1 计算机系统简介

1.1.1 计算机的软硬件概念

计算机系统由“硬件”和“软件”两大部分组成。

所谓“硬件”,是指计算机的实体部分,它由看得见摸得着的各种电子元器件,各类光、电、机设备的实物组成,如主机、外部设备等。

所谓“软件”,它看不见摸不着,由人们事先编制的具有各类特殊功能的程序组成。通常把这些程序寄寓于各类媒体(如 RAM、ROM、磁带、磁盘、光盘,甚至纸带等),它们通常存放在计算机的主存或辅存内。由于“软件”的发展不仅可以充分发挥机器的“硬件”功能,提高机器的工作效率,而且已经发展到能局部模拟人类的思维活动,因此在整个计算机系统内,“软件”的地位和作用已经成为评价计算机系统性能好坏的重要标志。当然,“软件”性能的发挥也必须依托“硬件”的支撑。因此,概括而言,计算机性能的好坏取决于“软”“硬”件功能的总和。

计算机的软件通常又可以分为两大类:系统软件和应用软件。

系统软件又称为系统程序,主要用来管理整个计算机系统,监视服务,使系统资源得到合理调度,高效运行。它包括:标准程序库、语言处理程序(如将汇编语言翻译成机器语言的汇编程序或将高级语言翻译成机器语言的编译程序)、操作系统(如批处理系统、分时系统、实时系统)、服务程序(如诊断程序、调试程序、连接程序等)、数据库管理系统、网络软件等。

应用软件又称为应用程序,它是用户根据任务需要所编制的各种程序,如科学计算程序、数据处理程序、过程控制程序、事务管理程序等。

1.1.2 计算机系统的层次结构

现代计算机的解题过程如下。

通常由用户用高级语言编写程序(称为源程序),然后将它和数据一起送入计算机内,再由计算机将其翻译成机器能识别的机器语言程序(称为目标程序),机器自动运行该机器语言程序,并将计算结果输出。其过程如图 1.1 所示。

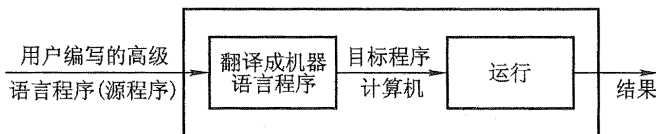


图 1.1 计算机的解题过程

实际上,早期的计算机只有机器语言(用 0、1 代码表示的语言),用户必须用二进制代码(0、1)来编写程序(即机器语言程序)。这就要求程序员对他们所使用的计算机硬件及其指令系统十分熟悉,编写程序难度很大,操作过程也极容易出错。但用户编写的机器语言程序可以直接在机器上执行。直接执行机器语言的机器称为实际机器 M_1 ,如图 1.2 所示。

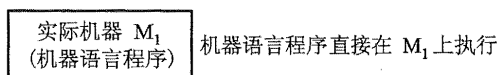


图 1.2 实际机器 M_1

20 世纪 50 年代开始出现了符号式的程序设计语言,即汇编语言。它用符号 ADD、SUB、MUL、DIV 等分别表示加、减、乘、除等操作,并用符号表示指令或数据所在存储单元的地址,使程序员可以不再使用繁杂而又易错的二进制代码来编写程序。但是,实际上没有一种机器能直接识别这种汇编语言程序,必须先将汇编语言程序翻译成机器语言程序,然后才能被机器接受并自动运行。这个翻译过程是由机器系统软件中的汇编程序来完成的。如果把具有翻译功能的汇编程序的计算机看作一台机器 M_2 ,那么,可以认为 M_2 在 M_1 之上,用户可以利用 M_2 的翻译功能直接向 M_2 输入汇编语言程序,而 M_2 又会将翻译后的机器语言程序输入给 M_1 , M_1 执行后将结果输出。因此, M_2 并不是一台实际机器,它只是人们感到存在的一台具有翻译功能的机器,称这类机器为虚拟机。这样,整个计算机系统便具有两级层次结构,如图 1.3 所示。

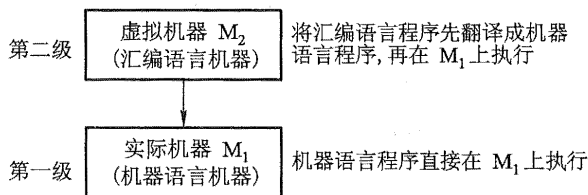


图 1.3 具有两级层次结构的计算机系统

尽管有了虚拟机 M_2 使用户编程更为方便,但从本质上看,汇编语言仍是一种面向实际机器的语言,它的每一条语句都与机器语言的某一条语句(0、1 代码)一一对应。因此,使用汇编语言编写程序时,仍要求程序员对实际机器 M_1 的内部组成和指令系统非常熟悉,也就是说,程序员必须经过专门的训练,否则是无法操作计算机的。另一方面,由于汇编语言摆脱不了实际机器的指令系统,因此,汇编语言没有通用性,每台机器必须有一种与之相对应的汇编语言。这使得程序员要掌握不同机器的指令系统,不利于计算机的广泛应用和发展。

20 世纪 60 年代开始先后出现了各种面向问题的高级语言,如 FORTRAN、BASIC、Pascal、C 等。这类高级语言对问题的描述十分接近人们的习惯,并且还具有较强的通用性。程序员完全不必了解、掌握实际机器 M_1 的机型、内部的具体组成及其指令系统,只要掌握这类高级语言的语法和语义,便可直接用这种高级语言来编程,这给程序员带来了极大的方便。当然,机器 M_1 本身是不能识别高级语言的,因此,在进入机器 M_1 运行前,必须先将高级语言程序翻译成汇编语言程序(或其他中间语言程序),然后再将其翻译成机器语言程序;也可以将高级语言程序直接翻译成机器语言程序。这些工作都是由虚拟机器 M_3 来完成的,对程序员而言,他们并不知道这个翻译过程。由此又可得出具有三级层次结构的计算机系统,如图 1.4 所示。

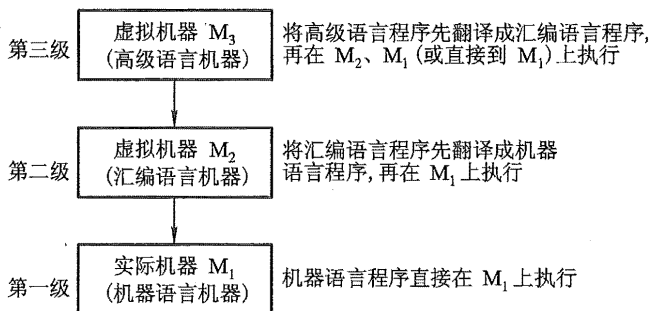


图 1.4 具有三级层次结构的计算机系统

通常,将高级语言程序翻译成机器语言程序的软件称为翻译程序。翻译程序有两种:一种是编译程序,另一种是解释程序。编译程序是将用户编写的高级语言程序(源程序)的全部语句一次全部翻译成机器语言程序,而后再执行机器语言程序。因此,只要源程序不变,就无须再次进行翻译。例如,FORTRAN、Pascal 等语言就是用编译程序来完成翻译的。解释程序是将源程序的一条语句翻译成对应于机器语言的一条语句,并且立即执行这条语句,接着翻译源程序的下一条语句,并执行这条语句,如此重复直至完成源程序的全部翻译任务。它的特点是翻译一次执行一次,即使下一次重复执行该语句时,也必须重新翻译。例如,BASIC 语言的翻译就有解释程序和编译程序两种。

从上述介绍中不难看出,由于软件的发展,使实际机器 M_1 向上延伸构成了各级虚拟机器。同理,机器 M_1 内部也可向下延伸而形成下一级的微程序机器 M_0 。机器 M_0 是直接将机器 M_1 中的每一条机器指令翻译成一组微指令,即构成一个微程序。机器 M_0 每执行完对应于一条机器

指令的一个微程序后,便由机器 M_1 中的下一条机器指令使机器 M_0 自动进入与其相对应的另一个微程序的执行。由此可见,微程序机器 M_0 可看作是对实际机器 M_1 的分解,即用 M_0 的微程序解释并执行 M_1 的每一条机器指令(有关微程序机器的介绍,详见第 10 章)。由于机器 M_0 也是实际机器,因此,为了区别于 M_1 ,通常又将 M_1 称为传统机器,将 M_0 称为微程序机器。这样又可认为计算机系统具有四级层次结构,如图 1.5 所示。

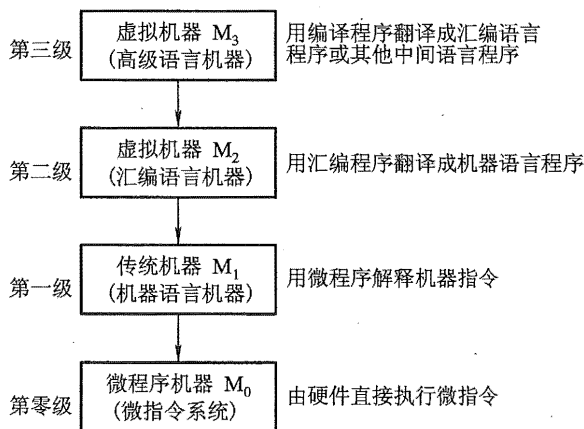


图 1.5 具有四级层次结构的计算机系统

在上述四级层次结构的系统中,实际上在实际机器 M_1 与虚拟机器 M_2 之间还有一级虚拟机器,它是由操作系统软件构成的。操作系统提供了在汇编语言和高级语言的使用和实现过程中所需的某些基本操作,还起到控制并管理计算机系统全部硬件和软件资源的作用,为用户使用计算机系统提供极为方便的条件。操作系统的功能是通过其控制语言来实现的。图 1.6 描绘了一个常见的五级计算机系统的层次结构。

虚拟机器 M_4 还可向上延伸,构成应用语言虚拟机。这一级是为使计算机满足某种用途而专门设计的,该级所用的语言是各种面向问题的应用语言,如用于人工智能和计算机设计等方面的语言。应用语言编写的程序一般由应用程序包翻译到虚拟机器 M_4 上。

从计算机系统的多级层次结构来看,可以将硬件研究的主要对象归结为传统机器 M_1 和微程序机器 M_0 。软件的研究对象主要是操作系统级以上的各级虚拟机。值得指出的是,软硬件交界界面的划分并不是一成不变的。随着超大规模集成电路技术的不断发展,一部分软件功能将由硬件来实现,例如,目前操作系统已实现了部分固化(把软件永恒地存于只读存储器中),称为固件等。可见,软硬件交界界面变化的趋势正沿着图 1.6 所示的方向向上发展。

本书主要讨论传统机器 M_1 和微程序机器 M_0 的组成原理及设计思想,其他各级虚拟机的内容均由相应的软件课程讲授。

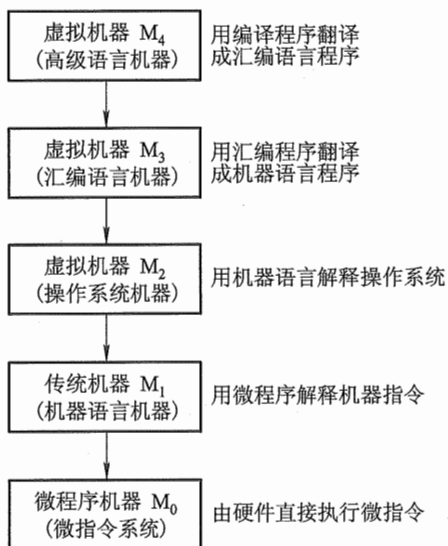


图 1.6 多级层次结构的计算机系统

1.1.3 计算机组成和计算机体系结构

在学习计算机组成时,应当注意如何区别计算机体系结构与计算机组成这两个基本概念。

计算机体系结构是指那些能够被程序员所见到的计算机系统的属性,即概念性的结构与功能特性。计算机系统的属性通常是指用机器语言编程的程序员(也包括汇编语言程序设计和汇编程序设计者)所看到的传统机器的属性,包括指令集、数据类型、存储器寻址技术、I/O 机理等,大都属于抽象的属性。由于计算机系统具有多级层次结构,因此,站在不同层次上编程的程序员所看到的计算机属性也是各不相同的。例如,用高级语言编程的程序员可以把 IBM PC 与 RS6000 两种机器看成是同一属性的机器。可是,对使用汇编语言编程的程序员来说,IBM PC 与 RS6000 是两种截然不同的机器。因为程序员所看到的这两种机器的属性,如指令集、数据类型、寻址技术等,都完全不同,因此,认为这两种机器的结构是各不相同的。

计算机组成是指如何实现计算机体系结构所体现的属性,它包含了许多对程序员来说是透明的硬件细节。例如,指令系统体现了机器的属性,这是属于计算机结构的问题。但指令的实现,即如何取指令、分析指令、取操作数、运算、送结果等,这些都属于计算机组成问题。因此,当两台机器指令系统相同时,只能认为它们具有相同的结构。至于这两台机器如何实现其指令的功能,完全可以不同,则它们的组成方式是不同的。例如,一台机器是否具备乘法指令的功能,这是一个结构问题,可是,实现乘法指令采用什么方式,则是一个组成问题。实现乘法指令可以采

用一个专门的乘法电路,也可以采用连续相加的加法电路来实现,这两者的区别就是计算机组成的区别。究竟应该采用哪种方式来组成计算机,要考虑到各种因素,如乘法指令使用的频度、两种方法的运行速度、两种电路的体积、价格、可靠性等。

不论是过去还是现在,区分计算机结构与计算机组成这两个概念都是十分重要的。例如,许多计算机制造商向用户提供一系列体系结构相同的计算机,而它们的组成却有相当大的差别,即使是同一系列不同型号的机器,其价格和性能也是有极大差异的。因此,只知其结构,不知其组成,就选不好性能价格比最合适的机器。此外,一种机器的体系结构可能维持许多年,但机器的组成却会随着计算机技术的发展而不断变化。例如,1970 年首次推出了 IBM System/370 结构,它包含了许多机型。一般需求的用户可以买价格便宜的低速机型;对需求高的用户,可以买一台升级的价格稍贵的机型,而不必抛弃原来已开发的软件。许多年来,不断推出性能更高、价格更低的机型,新机型总归保留着原来机器的结构,使用户的软件投资不致浪费。

本书主要研究计算机的组成,有关计算机体系结构的内容将在“计算机体系结构”课程中讲述。

1.2 计算机的基本组成

1.2.1 冯·诺依曼计算机的特点

1945 年,数学家冯·诺依曼(von Neumann)在研究 EDVAC 机时提出了“存储程序”的概念。以此概念为基础的各类计算机通称为冯·诺依曼机。它的特点可归结如下:

- 计算机由运算器、存储器、控制器、输入设备和输出设备五大部件组成。
- 指令和数据以同等地位存放于存储器内,并可按地址寻访。
- 指令和数据均用二进制数表示。
- 指令由操作码和地址码组成,操作码用来表示操作的性质,地址码用来表示操作数在存储器中的位置。
- 指令在存储器内按顺序存放。通常,指令是顺序执行的,在特定条件下,可根据运算结果或根据设定的条件改变执行顺序。
- 机器以运算器为中心,输入输出设备与存储器间的数据传送通过运算器完成。

1.2.2 计算机的硬件框图

典型的冯·诺依曼计算机是以运算器为中心的,如图 1.7 所示。

现代的计算机已转化为以存储器为中心,如图 1.8 所示。

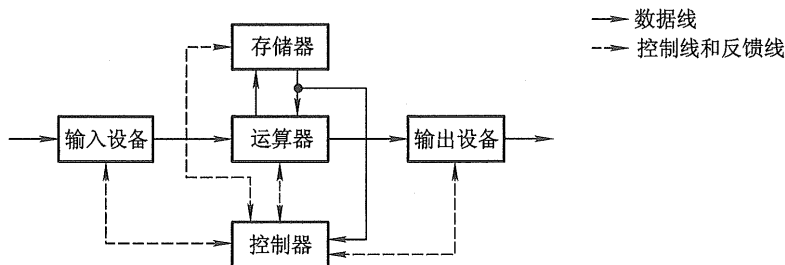


图 1.7 典型的冯·诺依曼计算机结构框图

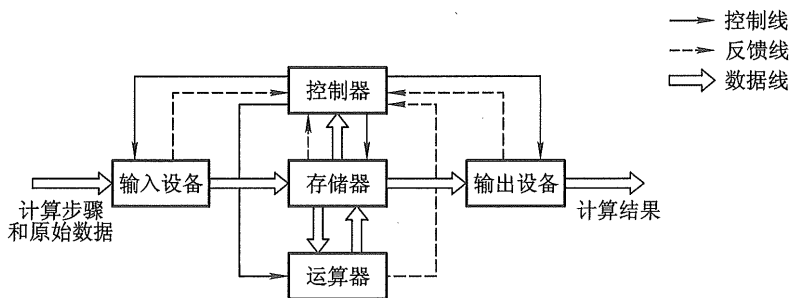


图 1.8 以存储器为中心的计算机结构框图

图中各部件的功能如下：

- 运算器用来完成算术运算和逻辑运算,并将运算的中间结果暂存在运算器内。
- 存储器用来存放数据和程序。
- 控制器用来控制、指挥程序和数据的输入、运行以及处理运算结果。
- 输入设备用来将人们熟悉的信息形式转换为机器能识别的信息形式,常见的有键盘、鼠标等。
- 输出设备可将机器运算结果转换为人们熟悉的信息形式,如打印机输出、显示器输出等。

计算机的五大部件(又称五大子系统)在控制器的统一指挥下,有条不紊地自动工作。

由于运算器和控制器在逻辑关系和电路结构上联系十分紧密,尤其在大规模集成电路制作工艺出现后,这两大部件往往集成在同一芯片上,因此,通常将它们合起来统称为中央处理器(Central Processing Unit, CPU)。把输入设备与输出设备简称为 I/O 设备(Input/Output Equipment)。

这样,现代计算机可认为由三大部分组成:CPU、I/O 设备及主存储器(Main Memory, MM),如图 1.9 所示。CPU 与主存储器合起来又可称为主机,I/O 设备又可称为外部设备。