

21世纪

21世纪高等学校计算机学科系列教材

计算机 组成原理

王 闵 编著

全国高等学校计算机教育研究会
课程与教材建设委员会推荐出版

电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

URL: <http://www.phei.com.cn>

21 世纪高等学校计算机学科系列教材

计算机组成原理

王 闵 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书系统地介绍了计算机的组成结构与基本工作原理。主要内容是:①“计算机组成原理”课程研究的内容;②存储体系;③数据的编码表示;④指令系统;⑤运算方法和运算器组成;⑥组合逻辑控制原理和微机程序控制原理;⑦系统总线及输入输出方式。除以上内容外,本书还增加了:①Cache-MM-VM 之间的地址映像和地址变换;②PC 机的指令系统和程序设计基本方法;③并行处理基本原理。

本书每章后都附有大量习题,为了方便自学,还计划出版与本教材配套的多媒体教学软件和习题解答。

本书为高等学校计算机专业本科生教材,也可供从事计算机专业的科技人员,电脑爱好者及各类自学人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理/王冈编著. - 北京:电子工业出版社,2001.1

21 世纪高等学校计算机学科系列教材

ISBN 7-5053-6367-0

I. 计… II. 王… III. 计算机体系结构 - 高等学校 - 教材 IV. TP303

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 74599 号

丛 书 名: 21 世纪高等学校计算机学科系列教材

书 名: 计算机组成原理

编 著 者: 王 冈

责任编辑: 张荣琴 赵文博

印 刷 者: 北京牛山世兴印刷厂

出版发行: 电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 21.5 字数: 550.4 千字

版 次: 2001 年 1 月第 1 版, 2003 年 6 月第 4 次印刷

印 数: 5 000 册 定价: 28.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。
联系电话:(010)68279077

序 言

这套教材是面向 21 世纪计算机学科系列教材。为什么要组织这套教材？根据什么根据这套教材？这些都是在这篇序言中要回答的问题。

计算机学科是一个飞速发展的学科，尤其是近十年来，计算机向高度集成化、网络化和多媒体化发展的速度一日千里。但是，从另一个方面来看，目前高等学校的计算机教育，特别是教材建设，远远落后于现实的需要。现在的教材主要是根据《教学计划 1993》的要求组织编写的。这个教学计划，在制订过程中主要参照了美国 IEEE 和 ACM 的《教学计划 1991》。

10 年来，计算机学科已有了长足发展，这就要求高等学校计算机教育必须跟上形势发展的需要，在课程建设和教材建设上作出相应调整，以适应面向 21 世纪计算机教育的要求。这是组织这套教材的初衷。

为了组织好这套教材，全国高等学校计算机教育研究会课程与教材建设委员会在天津召开了“全国高等学校计算机学科课程与教材建设研讨会”；在北京召开了“教材编写大纲研讨会”。在这两次会议上，代表们深入地研讨了全国高校计算机专业教学指导委员会和中国计算机学会教育委员会制订的《计算机学科教学计划 2000》以及美国 IEEE 和 ACM 的《计算机学科教学计划 2001》。这是这套教材参照的主要依据。

IEEE 和 ACM 的《计算机学科教学计划 2001》是在总结了从《计算机学科教学计划 1991》到现在，计算机学科十年来发展的主要成果的基础上诞生的。它认为面向 21 世纪计算机学科应包括 14 个主科目，其中 12 个主科目为核心主科。它们是：算法与分析(AL)、体系结构(AR)、离散结构(DS)、计算科学(CN)、图形学、可视化、多媒体(GR)、网络计算(NC)、人机交互(HC)、信息管理(IM)、智能系统(IS)、操作系统(OS)、程序设计基础(PF)、程序设计语言(PL)、软件工程(SE)、社会、道德、法律和专业问题(SP)。其中除 CN 和 GR 为非核心主科目外，其他 12 项均为核心主科目。

将 2001 教学计划与 1991 教学计划比较可看出：

在 1991 年计划中，离散结构只作为数学基础提出，而在 2001 计划中，则作为核心主科目提出，显然，提高了它在计算机学科中的地位；

在 1991 计划中，未提及网络计算，而在 2001 计划中，则作为核心主科目提出，以适应网络技术飞速发展的需求；

图形学、可视化与多媒体也是为适应发展要求新增加的内容。

除此之外，2001 计划在下述 5 个方面作了调整：

程序设计语言引论调整为程序设计基础；将人-机通信调整为人机交互；将人工智能与机器人学调整为智能系统；将数据库与信息检索调整为信息管理；将数值与符号计算调整为计算科学。

显然，这些变化使 2001 计划更具有科学性，也更好地适应了学科发展的需要。

在组织这套教材的过程中，充分考虑了这些变化和调整，在软件和硬件的课程体系、界面划分均做了相应的调整，使整套教材更具有科学性和实用性。

另外，还要说明一点，教材建设既要满足必修课的要求，又要满足限选课和任选课的要求。

因此,教材应按系列组织,反映整个计算机学科的要求,采用大拼盘结构,以适应各校不同的具体教学计划的要求,各校可根据自己的需求进行选拼使用。

这套教材包括:《微机应用基础》、《离散数学》、《电路与电子技术》、《电路与电子技术习题与实验指南》、《数字逻辑与数字系统》、《计算机组成原理》、《微机接口技术》、《计算机体系结构》、《计算机网络》、《计算机网络实验教程》、《通信原理》、《计算机网络管理》、《网络信息系统集成》、《多媒体技术》、《计算机图形学》、《计算机维护技术》、《数据结构》、《计算机算法设计与分析》、《计算机数值分析》、《汇编语言程序设计》、《PASCAL 语言程序设计》、《VB 程序设计》、《C 语言程序设计》、《C++ 语言程序设计》、《JAVA 语言程序设计》、《操作系统原理》、《UNIX 操作系统原理与应用》、《LINUX 操作系统》、《软件工程》、《数据库系统原理》、《编译原理》、《编译方法》、《人工智能》、《计算机信息安全》、《计算机图形学》、《人机交互》、《计算机伦理学》等。对于 IEEE 和 ACM 的《计算机学科教学计划 2001》中提出的 14 个主科目这套系列教材均涵盖,能够满足不同层次院校、不同教学计划的要求。

这套系列教材由全国高等学校计算机教育研究会课程与教材建设委员会主任李大友教授精心策划和组织。编者均为具有丰富教学实践经验的专家和教授。所编教材体系结构严谨、层次清晰、概念准确、论理充分、理论联系实际、深入浅出、通俗易懂。

教材组织过程中,得到了哈尔滨工业大学蒋宗礼教授、西安交通大学董渭清副教材、武汉大学张焕国教授、吉林大学张长海教授、福州大学王晓东教授、太原理工大学余雪丽教授等的大力支持和帮助,在此一并表示衷心感谢。

李大友

2000 年 6 月

前 言

本教材是由全国高校计算机教育研究会和教材建设委员会确定出版的,是根据“21 世纪高等学校计算机学科课程与教材建设研讨会”有关课程设置以及对“计算机组成原理”课程的要求来编写的。研讨会于 1999 年 4 月在天津理工学院召开。

本教材的选材原则是脱离具体机型,脱离具体芯片,博采众家之长,围绕基本组成结构展开。选材上既要紧跟计算机技术发展的最新潮流,体现最新成果,最新动向,又要着重于基本概念,基本原理的阐述。教材的主线仍围绕 Von Neumann 计算机展开。

全书共有 7 章,系统地介绍了计算机组成结构及工作原理。第 1 章概论简要介绍了“计算机组成原理”课程所处的地位及研究的范围。第 2 章存储体系介绍了 RAM, ROM 等半导体存储器;多体,相联等并行存储器;磁盘,光盘等辅助存储器。此外还讲述了 Cache-MM-VM 三级存储体系及其地址的映像和变换方式。第 3 章编码主要讲述了原码,补码,移码等数值编码以及数值的定点,浮点表示。第 4 章指令系统介绍了指令的地址码格式,操作码格式,寻址方式,指令类型等有关指令的一般性概念。此外作为一个具体的例子,对 PC 机的基本指令系统作了介绍,以及围绕指令展示最基本的程序设计技术。并从中使学生体会到一些功能复杂的指令总可以由若干条最基本的简单指令预以实现。第 5 章运算方法与运算器讲述了计算机实现加、减、乘、除四则运算,逻辑运算,计数,移位等操作的方法,以及实现浮点四则运算的方法。在此基础上讲述了定点运算器和浮点运算器的组成,并强调说明运算器的性能与下列因素密切相关。①CPU 内总线的结构;②指令系统的地址码结构;③四则运算的实现方法;④串行处理还是流水处理。第 6 章程序控制原理与控制器介绍了一台硬件结构和机器语言相对简单,但功能完备的模型机。该模型机在汇编语言一级与 PC 机的指令系统基本一致,具有相同的指令助记符和类似的寻址方式。以该模型机为例分别介绍了控制器设计的两种基本思路:组合逻辑方式和微程序控制方式。最后介绍了并行处理的基本概念。第 7 章系统总线和输入输出方式介绍了系统总线的组成、时序、分类和标准,以及总线的争用与仲裁。输入输出控制方式介绍了程序直接控制方式,程序中断方式,直接存储器存取(DMA)方式和输入输出处理机(IOP)方式。

本教材参考学时为 70~80 学时。各校可根据自己的培养方向,教学时数对内容进行取舍。其中虚拟存储器也可考虑放在操作系统课中讲授。

本教材由王冈主编,凝聚了编写小组全体同志的辛勤劳动。徐培培参加了第 1,2,3,4,7 章的编写整理。张淑平参加了第 5,6 章的编写整理,并且审阅了第 1,2,3,4,7 章。老教授李兴无认真地审阅了全稿并提出了许多有价值的意见和建议。林兴亚教授审阅了第 1,2,3,4 章并提出重要的修改意见。江小安教授对第 7 章提出了宝贵的建议。李学干教授审阅了第 6 章。在教材的编写过程中得到了计算机学院副院长武波教授,曾平教授和侯伯亨教授的关心和支持。计算机专家北京工业大学李大友教授对本教材的编写始终予以关注,并给予悉心指导和帮助。在此谨向上述同志和前辈表示衷心的感谢。

计算机技术是一个发展十分迅速的学科,有关计算机的书籍时效性特别强,教材自然也不例外。编者水平所限,在选材上以及理解的深度和广度上肯定会存在不少问题。期盼广大同行及专家学者慷慨赐教。

西安电子科技大学计算机学院 王闵

2000年7月

目 录

第1章 概论	(1)
1.1 计算工具的发展和 Von Neumann 计算机	(1)
1.1.1 人类计算机工具的进步	(1)
1.1.2 Von Neumann 计算机的体系结构	(1)
1.1.3 非 Von Neumann 计算机	(3)
1.2 计算机组成原理所涉及的内容	(4)
1.2.1 计算机系统的层次结构	(4)
1.2.2 计算机的分类	(5)
本章小结	(7)
习题一	(7)
第2章 存储体系	(8)
2.1 存储器概述	(8)
2.1.1 存储器基本组成	(8)
2.1.2 存储器分类	(9)
2.1.3 存储器主要性能指标	(10)
2.2 半导体读写存储器 RAM	(11)
2.2.1 半导体基本存储单元	(11)
2.2.2 半导体存储芯片的组织	(15)
2.3 半导体只读存储器 ROM	(17)
2.3.1 掩模只读存储器 MROM	(18)
2.3.2 一次性编程只读存储器 PROM	(18)
2.3.3 可改写的只读存储器 EPROM	(19)
2.3.4 电可改写只读存储器 E ² PROM 和闪存	(20)
2.4 主存储器与 CPU 的连接	(21)
2.4.1 CPU 与 MM 速度的协调	(21)
2.4.2 存储芯片的工作时序	(21)
2.4.3 用存储芯片构成主存储器	(23)
2.5 并行存储器	(26)
2.5.1 双端口存储器	(26)
2.5.2 多模块存储器	(27)
2.5.3 相联存储器	(28)
2.6 存储体系	(30)
2.6.1 高速缓冲存储器 Cache	(30)
2.6.2 虚拟存储器	(35)
2.6.3 三级存储体系	(40)
2.7 外存储器	(41)
2.7.1 磁记录原理及记录方式	(41)
2.7.2 磁盘存储器	(48)

2.7.3 磁带存储器	(52)
2.7.4 激光记录原理及光盘存储器	(53)
本章小结	(56)
习题二	(57)
第3章 数值与编码	(61)
3.1 数值的编码表示	(61)
3.1.1 原码表示	(61)
3.1.2 补码表示	(62)
3.1.3 反码表示	(66)
3.1.4 移码表示	(67)
3.2 定点数与浮点数	(68)
3.3 非数值信息的表示	(71)
3.3.1 逻辑数据	(71)
3.3.2 字符编码 ASCII 码	(72)
3.3.3 汉字编码	(73)
本章小结	(75)
习题三	(75)
第4章 指令系统	(78)
4.1 指令	(78)
4.1.1 指令中的地址码格式	(79)
4.1.2 指令中的操作码格式	(81)
4.1.3 寻址方式	(83)
4.1.4 指令类型	(89)
4.2 PC 机的指令系统	(92)
4.2.1 操作数的寻址方式	(92)
4.2.2 传送类指令	(98)
4.2.3 算术运算类指令	(102)
4.2.4 逻辑运算类指令	(109)
4.2.5 转向地址的寻址方式	(113)
4.2.6 程序控制类指令	(115)
4.2.7 标志位操作指令	(130)
4.3 指令系统的发展	(130)
4.3.1 指令系统的发展演变	(130)
4.3.2 RISC 的特点	(132)
本章小结	(133)
习题四	(133)
第5章 运算方式与运算器	(140)
5.1 计算机中的非四则运算及其实现	(140)
5.1.1 逻辑运算及算逻部件 ALU	(140)
5.1.2 移位操作及移位寄存器	(141)
5.1.3 计数操作及同步计数器	(142)
5.1.4 取补、取反操作及取补器	(145)
5.2 定点数的加减运算及加法器	(147)
5.2.1 补码的加减运算及溢出判别	(147)

5.2.2 并行加法器及先行进位链	(152)
5.2.3 移码加减运算	(156)
5.2.4 二十进制加法运算及加法器	(157)
5.3 定点小数的乘法运算及实现	(159)
5.3.1 原码乘法及实现	(159)
5.3.2 补码乘法及实现	(164)
5.3.3 阵列乘法器	(167)
5.4 定点小数的除法运算及实现	(169)
5.4.1 原码除法及实现	(169)
5.4.2 补码除法及实现	(175)
5.4.3 阵列除法器	(178)
5.5 定点运算器的组成与结构	(179)
5.5.1 运算器的内部总线结构	(180)
5.5.2 带有累加器的简单运算器结构	(182)
5.5.3 单总线移位乘除的运算器结构	(184)
5.5.4 三总线阵列乘除的运算器结构	(188)
5.6 浮点四则运算及浮点运算器组成	(190)
5.6.1 浮点加减运算	(191)
5.6.2 浮点乘法运算	(193)
5.6.3 浮点除法运算	(195)
5.6.4 浮点运算器组成	(196)
本章小结	(202)
习题五	(203)
第6章 程序控制原理与控制器	(207)
6.1 控制器基本概念	(207)
6.1.1 控制器基本组成与分类	(207)
6.1.2 指令执行基本过程	(208)
6.1.3 控制器时序系统	(208)
6.1.4 控制器基本控制方式	(212)
6.2 一台模型机的设计	(213)
6.2.1 模型机指令系统与寻址方式	(214)
6.2.2 模型机 CPU 及模型机硬件系统组成	(218)
6.2.3 模型机时序系统与控制方式	(221)
6.2.4 模型机的指令微流程	(223)
6.2.5 模型机组合逻辑控制器的设计	(233)
6.3 微程序控制原理	(238)
6.3.1 微程序控制器的基本构成和工作原理	(238)
6.3.2 微指令编码方式	(240)
6.3.3 微地址产生方式	(242)
6.3.4 微程序时序控制	(244)
6.4 模型机微程序控制器的设计	(246)
6.4.1 模型机微指令格式设计	(246)
6.4.2 模型机微程序设计举例	(250)
6.5 并行处理技术	(257)

6.5.1 指令流水线	(257)
6.5.2 并行性概念	(259)
6.5.3 并行处理技术的发展及多机系统	(261)
本章小结	(263)
习题六	(264)
第7章 系统总线与输入输出控制方式	(270)
7.1 系统总线	(270)
7.1.1 总线概述	(270)
7.1.2 系统总线的结构与组成	(272)
7.1.3 系统总线的操作时序和操作方式	(275)
7.1.4 系统总线的争用与仲裁	(279)
7.2 输入输出概论	(283)
7.2.1 外设的种类及与 CPU 的连接	(283)
7.2.2 外设接口	(284)
7.2.3 接口寻址	(287)
7.3 直接程序控制方式	(288)
7.3.1 基本概念	(288)
7.3.2 程序查询方式接口基本组成	(289)
7.3.3 查询方式程序基本结构	(293)
7.4 程序中断方式	(294)
7.4.1 中断基本概念	(294)
7.4.2 向量中断法执行步骤	(297)
7.4.3 程序中断方式接口构成	(301)
7.4.4 中断嵌套与中断屏蔽	(304)
7.4.5 集中式中断控制器及向量中断过程图示	(307)
7.4.6 向量中断方式程序基本结构	(312)
7.5 直接存储器访问(DMA)方式	(315)
7.5.1 DMA 方式基本概念	(315)
7.5.2 DMA 的传送方式	(318)
7.5.3 DMA 接口组成	(319)
7.6 输入输出处理机(IOP)方式	(322)
7.6.1 IOP 方式基本概念	(323)
7.6.2 IOP 的数据传送方式	(324)
7.6.3 IOP 的工作过程	(325)
本章小结	(326)
习题七	(327)
参考文献	(331)

第 1 章 概 论

1.1 计算工具的发展和 Von Neumann 计算机

1.1.1 人类计算工具的进步

人类在长期的生产实践活动中创造了类型繁多的工具,使自身能力不断扩犬。各种机械、动力工具是人类双手和四肢的延伸,各种测量工具和传感器是人类感官的增强,而各种计算工具则是人类大脑的扩展。

随着人类文明的不断进步,计算工具也在不断地发展演变着。远古时期,人类的计算工具便是自己的十个手指,在此基础上形成延用至今的十进制计数法。随着生产力的发展,十个手指的运算工具已无法满足运算速度和运算精度的要求。公元前 5 世纪,我们的祖先发明了算盘,后来算盘又传到日本和亚洲一些国家,最后又传到欧洲,并且经过了几千年的实践考验,至今算盘仍在使⽤,可见其科学性和实用性。它是中华民族对世界计算工具的一大贡献。算盘是这一计算工具的“硬件”,“口诀”则是算盘的“软件”。公元 17 世纪,欧洲人发明了对数计算尺,稍后又发明了手摇(机械)计算机。

上个世纪英国人 Boole 创立了“布尔代数”,为现代计算机奠定了理论基础。本世纪初,Ecclers 和 Jordan 两位工程师用两个电子管组成了双稳态触发器,用来表示“1”和“0”,为现代计算机又奠定了物质基础。直到 1946 年美国宾夕法尼亚大学摩尔学院与美国军方阿伯丁弹道实验室试制成功一台被称为 ENIAC(Electronic Numerical Integrator and Computer)的电子数字积分和计算机。这个计算机十分庞大,占地 170m^2 ,体积 85m^3 ,重达 30t。用了 18 800 个电子管,功耗为 150kW,运行速度为 5 000 次/秒,更为致命的是存储容量太小,只能存储 20 个数据。没有软件,需要靠改变硬件连接来实现不同的运算。尽管如此,作为人类历史上第一台电子数字计算机,ENIAC 被认为是现代计算机的始祖而载入史册。

数学家 John Von Neumann 参加了 ENIAC 的研制并对 ENIAC 的缺陷进行了认真的思索和研究,于 1946 年 6 月发表了“关于电子计算装置逻辑结构初探”的报告。报告中提出了以二进制、程序存储和程序控制为核心的若干设计思想,从而奠定了当代电子数字计算机体系结构的基础。自 1946 年至今,计算机发展了几十年,计算机的体系结构发生了许多变化,但 Von Neumann 提出的二进制、程序存储和程序控制,依然是普遍遵循的原则。

1.1.2 Von Neumann 计算机的体系结构

Von Neumann 型计算机的特点可归纳如下:

1. 数据表示及运算采用二进制,指令及其他非数值信息也以二进制表示

采用二进制表示的原因可归纳为以下几点:

(1) 具有两个稳定状态的电子器件众多,三极管的导通与截止、电容的充放电、开关的闭

合与断开等等都可方便地用来表示二进制的两个符号 0 和 1。

(2) 基数愈小,意味着表示数的符号愈少,相应的运算规律也就愈简单。

例如十进制乘法,应当有 $10 \times 10 = 100$ 条规则,因乘法交换律除去被乘数与乘数的位置因素后,也有 55 条规则,这就是乘法的九九表。

而二进制的乘法规则只有 $2 \times 2 = 4$ 条,即:

$$0 \times 0 = 0$$

$$0 \times 1 = 0$$

$$1 \times 0 = 0$$

$$1 \times 1 = 1$$

若认为 $0 \times 1 = 0$ 与 $1 \times 0 = 0$ 为一条,则只有 3 条乘法规则。运算规则简单的直接好处是易于电路实现。例如上述二进制乘法规则,只需一个两输入端的与门即可实现。

(3) 二进制的“1”和“0”正好与逻辑推理中的真和假(或称是和是非)相对应,为实现逻辑运算和逻辑判断提供了便利。

这一点是非常重要的,逻辑运算是构造计算机的基础,整个计算机硬件系统都是由逻辑器件构成的。

(4) 用二进制表示数据具有抗干扰能力强,可靠性高的优点。因为每位数据只有高低两个状态。当受到一定程度的干扰仍能可靠地分辨出它应属于低还是高。

除了数据用二进制表示外,其他任何非数值信息,像计算机指令,命令/状态信息,字母,汉字,图像,声音等都可以通过二进制的编码来表示。这样非数值信息也就可以进入计算机内,使计算机处理非数值信息成为可能。

2. 存储程序控制

存储程序控制是计算机与其他运算工具(算盘、对数计算尺、手摇计算机)最大的区别所在,其基本原理和工作过程是:

(1) 将计算机要解决的问题抽象为数学模型,并按顺序分解为解题的步骤,步骤应细化到计算机硬件所能完成的最基本操作——指令。指令由操作码和操作数(或地址码)两部分组成,操作码指明操作的种类,操作数(或地址码)指明操作的对象。这些顺序排列、相互配合的指令就组成了解题的程序。也就是说程序是计算机解题的步骤,它是人解题思想的体现。

(2) 将计算机程序顺序存入存储器,将所需原始数据也存入存储器,这称为“程序存储”(与 ENIAC 相比这是一大进步)。程序存储为计算机连续自动的工作奠定了基础。

(3) 计算机将存放在存储器中的指令逐条取出并执行,对原始数据进行加工求得最终结果。整个过程都是在程序控制下自动进行的,或者说每一个步骤都是在指令控制下进行的,这一过程称为“程序控制”。

与 ENIAC 不同,Von Neumann 机的硬件一旦设计好便被惟一地固定下来,完成不同的运算功能完全依靠预先存放在存储器中的程序来实现,这就是存储程序控制的基本原理。

3. Von Neumann 机硬件基本组成

Von Neumann 机的硬件组成如图 1.1 所示,由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备五大部件组成。首先将编好的解题程序和数据由输入设备例如键盘,送入存储器,完成“程序存储”。存储器是一个按地址进行读写的连续的一维空间,各地址单元具有相同的二进制

位数。

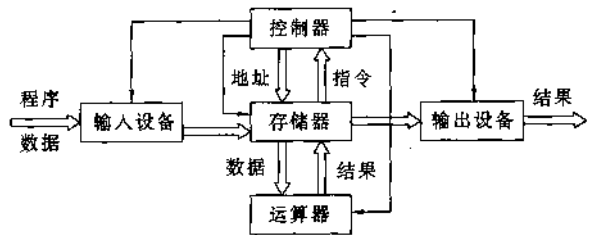


图 1.1 Von Neumann 机硬件组成

计算机运行程序时由控制器发出地址,从存储器中逐条取出指令送入控制器进行分析,根据指令的要求发出相应的控制信号,指挥计算机五大部件协调工作。这正是“程序控制”的概念。例如指挥存储器读出数据送往运算器,并指挥运算器执行某个特定的操作,然后将运算结果送存储器存储。

程序执行的最后,根据程序中安排的输出指令,由控制器控制将运算结果由存储器中送往输出设备,例如显示输出或打印输出。

图中双线及箭头表示地址、数据、指令等的通路和方向,单线表示控制器发出的控制信号。

1.1.3 非 Von Neumann 计算机

自 Von Neumann 于 1946 年奠定当代电子数字计算机的体系结构至今,已有半个多世纪的时间,在这段时间里,计算机的应用领域不断扩大,对计算机的处理能力、处理范围和运算速度等都提出了更高的要求。而 Von Neumann 机的“存储程序控制”思想和由此带来的程序顺序执行,单一控制器的集中控制模式,受到需求的挑战,某些方面已被突破。

例如在数据流计算机中,指令执行的顺序已不再是它在程序中出现的顺序,而完全取决于它需要的操作数据是否已齐备。只要数据齐备便可执行,执行的结果又会作为其他指令的数据引发其他指令的执行。只要数据齐备便可引起指令的并发执行,从而提高了指令执行的并行程度。

又如在归约机中,也打破了程序顺序执行的模式,程序的执行是靠需求引发的。在归约机中,一个操作仅当需要其结果时才被引发,如果由于操作数不具备而不能操作时,再引发能得到该数据的其他操作,这样一直延伸下去,直至所需常数或输入数据得到为止。然后再反方向地执行运算,在归约方式中,由于存在大量的并行操作,并舍去了与所求结果无关的其他操作,使整机性能得以提高。

在 Von Neumann 机上求解问题要先靠人建立数学模型,提出算法,并编制解题程序,然后交给计算机求解。但有一些问题,像模糊识别是很难建立数学模型和找到恰当算法的。这类非确定性问题的解决,需要计算机具有像人那样的直觉感受能力,联想、判断、演绎的能力。即使对那些可以建立数学模型的问题,人们也希望由计算机全盘承担。因此在人工智能计算机中希望计算机具有获得知识的能力(学习),表示知识并存储知识的能力(记忆)和推理演绎并产生新的知识的能力(创造思维)。这就突破了 Von Neumann“程序存储”的范畴,而升级为“知识存储”。

随着超导现象研究的深入和超导材料在能耗方面的优势,使用超导材料的计算机一直是科学家关注的一个方面。

由于光速为 $30 \times 10^3 \text{ km/s}$, 并且光路间可相互交叉而不会产生干扰, 光学计算机也是发展计算技术的一条新思路。

研究表明 DNA 中存储着大量的遗传信息, 可以借 DNA 来存储信息。在某种特定酶的作用下, DNA 分子可在瞬间实现特定的生化反应, 可以借此现象完成各种复杂的运算。随着对 DNA 研究的不断深入, 可望有一天最终制成生化计算机。它在实现人工智能以至最终制成“人工大脑”方面有着得天独厚的优势。

尽管如此, 目前绝大多数计算机基本上仍属于 Von Neumann 型计算机。作为专业基础课的《计算机组成原理》, 仍主要讲述 Von Neumann 机的体系结构。

1.2 计算机组成原理所涉及的内容

1.2.1 计算机系统的层次结构

现代计算机是一个功能复杂的软硬件系统。从计算机使用者的角度, 从计算机操作员的角度, 从程序设计员的角度和从硬件工程师的角度, 所看到的计算机系统具有完全不同的属性。为了更好地表达和分析这些属性之间的联系, 以便更恰当地确定软件和硬件之间的界面, 使用者与设计者之间的界面, 以及各层次计算机语言之间的界面, 一般将计算机划分为若干层次, 以一种层次结构的观点去看待和分析计算机。在学习使用计算机时, 也可选择一个层次(一级语言)去理解和认识计算机。在设计计算机时, 也可按层次来组织设计并分级实现, 以利于整个系统的设计、调试和维护。图 1.2 是计算机层次结构的大致划分。

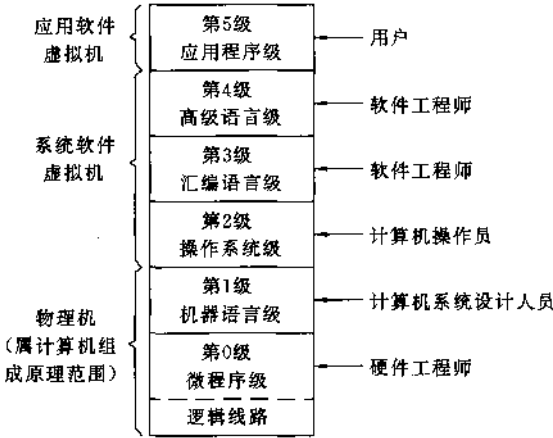


图 1.2 计算机系统层次结构

位于层次结构最上层(第5层)的是针对某一应用领域、某些专门问题而设计的应用软件。这一层次的应用人员(用户)所看到的计算机是能够解决某些专门问题的智能机器。他所理解的计算机实际上只是建立在大量软件及硬件基础上的虚拟机, 处于这一层次的用户可以完全不理解计算机的软件和硬件而方便地使用计算机。

位于层次结构第4层的是高级语言虚拟机, 是高级语言程序员十分熟悉的, 他所看到的计算机是一个能够理解接近于人类自然语言的聪明机器, 可以完成要求它完成的事情。他可以完全不了解计算机的硬件, 也可以完全不懂得编译和操作系统的设计。

位于层次结构第3层的是汇编语言虚拟机,为汇编语言程序员所熟悉,他所看到的计算机只能进行加、减、与、或等一些简单运算。他也可以不了解计算机的硬件而胜任自己的工作。

位于层次结构第2层的是操作系统虚拟机,它为任何计算机操作人员所熟悉。操作系统起着管理高级语言和汇编语言运行的作用。从这个角度看,操作系统似乎应位于各层之外,而作用于各层,不应将它作为层次结构中的一层。但从另一个角度看操作系统又是用汇编语言或高级语言编写的,从这点考虑操作系统似乎应位于这两级之上,但是从操作系统所提供的基本操作和对计算机系统进行管理的角度来看,它却是计算机软硬件功能最直接的延伸,理应位于高级语言和汇编语言之下,实际物理机之上。

位于层次结构第1层的是机器语言物理机,它是计算机软硬件的分界面,在它以上是各层次的软件和汇编语言(关系最直接的是汇编语言,它与机器语言有着一一对应的简单关系),在它以下是计算机的硬件。这一级除了计算机的设计者之外很少有人熟悉和了解它。它所提供的是那些计算机硬件可以读懂,并可以直接操纵计算机硬件工作的、十分难懂的二进制信息。

位于最低层次的第0层是计算机的硬件(逻辑线路),它是由机器语言直接操纵的。如果计算机的控制器是由微程序方式构造的,这一层便是指微程序级,其功能是将一条机器指令(0,1代码)对应为一系列由微指令(控制命令)组成的微程序,按微指令的先后顺序发出控制命令,就可引导数据在硬件内流动,完成一条指令的功能。这些由微指令组成的微程序是被固化于只读存储器ROM中的,因此也常称为“固件”。除了硬件设计人员,人们一般不知道它的存在。

在计算机的层次结构中,凡是由软件实现的称为虚拟机,图1.2中第2层以上均属虚拟机,第0层和第1层为硬件或固件完成,称为实际机器。应当说明的是在这个层次结构中软、硬件的界面并不是一成不变的,也不是十分清楚的,存在着一定程度的交叉。具有相同功能的计算机系统,由于档次不同或其他原因,其软、硬件之间的功能分配可能存在很大的差异。因为从功能上讲,任何可以由软件完成的功能均可由硬件来替代,反过来由硬件实现的功能也完全可以用软件来模拟。硬件意味着速度,软件则意味着灵活,这就使得可在很大的范围内决定软、硬件的比例。由于大规模集成线路的发展,造成硬件成本的不断下降;由于计算机应用领域的不断扩展,软件的设计成本又在不断上升,这就使得计算机设计人员将一些本由软件完成的工作改为硬件完成(即软件的固化),造成软硬件界面某种程度的上移。

在计算机的层次结构中,将最高层(第5层)划为应用软件的范围,将第2层、第3层和第4层划为系统软件,而将第1层和第0层划为系统硬件。第1层和第0层属于计算机组成原理的范围,是本书主要涉及的方面。

1.2.2 计算机的分类

自ENIAC诞生半个世纪来,计算机有了很大的发展,各种类型的计算机层出不穷。从不同的观点、不同的角度出发,以不同的标准衡量,计算机就有不同的分类方法。

例如按计算机系统的规模和功能的强弱,可将计算机分为:巨型机(超级计算机);大型机;中型机;小型机;微型机;单板机;单片机。

按功能的专一与否,可将计算机分为通用机和专用机。

按组成原理和器件可将计算机分为:机械计算机;电子计算机;光学计算机和生化计算机。

本节按信息处理的特性将计算机分类,这个分类方法是M. J. Flynn于1966年提出的,因而常称为费林分类法。

程序执行过程中,计算机内部有两种信息在流动。一种是计算机指令,它由存储器流入控

制器转化为整个计算机系统的控制命令。另一种是数据,原始数据由输入设备流入存储器,再流入运算器完成特定的运算;运算结果流至输出设备输出。费林将前一种信息流称为“指令流”,后一种称为“数据流”。根据指令流与数据流的不同组合,计算机系统可被划分为 4 类:

1. 单指令流单数据流计算机 SISD

SISD(Single Instruction Stream Single Data Stream)是指传统的顺序处理计算机由单一控制器、单一运算器和单一存储器组成。控制器每次只对一条指令译码,执行部件每次只对单一数据进行处理,有些 SISD 系统设置了指令流水线,运算操作流水线和多体交叉存储器,以提高系统速度,但它们在结构上仍属于 SISD 结构。图 1.3(a)为 SISD 的组成结构示意图。图中 CU、PU、MM 分别代表控制部件、执行部件和主存模块,IS、CS、DS 分别代表指令流、控制流和数据流。

2. 单指令流多数据流计算机 SIMD

SIMD(Single Instruction Stream Multiple Data Stream)计算机系统由单一控制器、多个执行部件和多个存储模块组成。多个存储模块由互连网络联接。控制部件每次执行单一指令并向多个执行部件“播发”相同的控制命令,使被激活的多个执行部件执行相同的操作,这是单指令流的含义。但每个执行部件加工的对象都是取自不同存储模块的不同数据,这是多数据流的含义。相联处理机、阵列处理机均属于这一类。图 1.3(b)为其组成结构示意图。

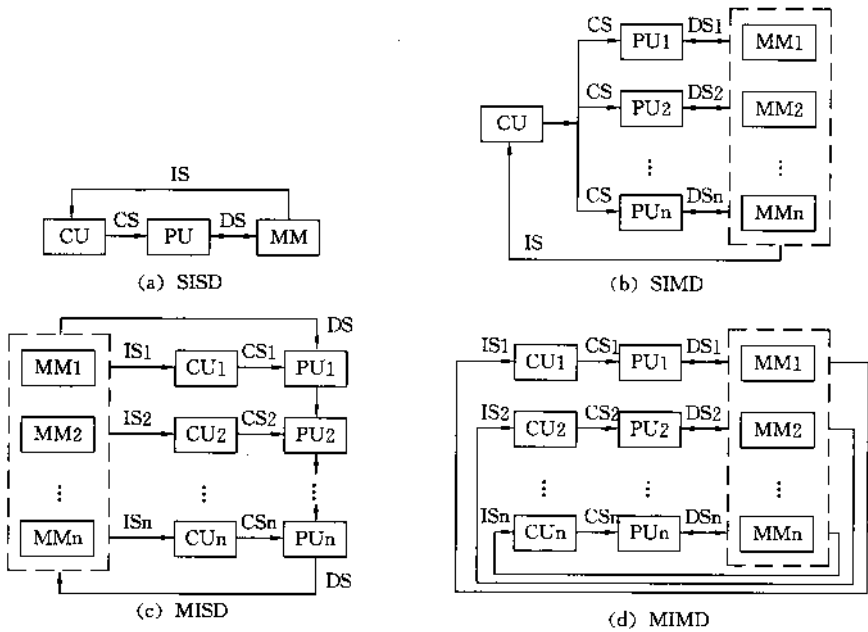


图 1.3 Flynn 分类法各类计算机结构示意图

3. 多指令流单数据流计算机 MISD

MISD 机的含义是指由多个控制部件同时执行不同的指令对同一数据进行处理,如图 1.3(c)所示。但这种方式没有什么实际意义,也没有恰当的例子。