



高等学校精品规划教材

—— 计算机硬件技术类 ——

计算机组成原理

主 编 马 辉 王丁磊
副主编 张 莉 高 峰 王瑞庆



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

21 世纪高等学校精品规划教材

计算机组成原理

主 编 马 辉 王丁磊

副主编 张 莉 高 峰 王瑞庆



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书按照计算机专业考研统考大纲中计算机组成原理科目知识点的要求,结合作者多年实际授课经验编写而成。全书共 10 章,主要包括:计算机系统概论、计算机逻辑部件基础、计算机中信息的表示和数值运算、存储器层次结构、指令系统、CPU 的功能与结构、控制单元 CU、控制单元的设计、系统总线、输入输出系统等。

本书既注重基础,具有概念清晰、讲解简明扼要、配合大量实例的特点;同时又力求与当代技术相结合,介绍 DDR 存储器、动态流水线、超标量等内容。为了突出应用、便于开展实践教学,在附录中简单介绍 MAX+plus II 软件和 VHDL 语言的基本知识。

本书既可作为高等院校计算机科学与技术、通信工程、电子工程等专业及其他相关专业的教材,又适合于有志考取计算机方向研究生的读者参考,对于从事计算机应用和开发的技术人员也具有一定的参考价值。

本书配有电子教案,读者可以从中国水利水电出版社网站和万水书苑免费下载,网址为:
<http://www.waterpub.com.cn/softdown/>和 <http://www.wsbookshow.com>。

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理 / 马辉, 王丁磊主编. — 北京 :
中国水利水电出版社, 2010. 1

21世纪高等学校精品规划教材
ISBN 978-7-5084-7015-3

I. ①计… II. ①马… ②王… III. ①计算机体系结构—高等学校—教材 IV. ①TP303

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第217340号

策划编辑: 雷顺加 责任编辑: 宋俊娥 加工编辑: 李向杰 封面设计: 李 佳

书 名	21 世纪高等学校精品规划教材 计算机组成原理
作 者	主 编 马 辉 王丁磊 副主编 张 莉 高 峰 王瑞庆
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)、82562819 (万水)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京蓝空印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 18.25 印张 449 千字
版 次	2010 年 1 月第 1 版 2010 年 1 月第 1 次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	29.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

计算机组成原理是计算机专业必修的一门核心专业基础课，主要讲述构成计算机系统的各功能部件的基本原理与互连构成整机的技术。它在计算机硬件课程方面具有承上启下的重要作用，对于计算机专业学生知识体系的构建具有重要意义。在 2009 年计算机考研专业课统考大纲中，明确规定计算机组成原理内容约占整份试卷分值的三分之一。

本书紧扣计算机考研大纲知识点要求，精心设计教学内容，主要针对单处理器计算机系统中各部件的内部工作原理、组成结构及相互连接方式进行讲解，各章节内容安排如下：

第 1 章、第 2 章为计算机系统概述，主要概括介绍计算机的发展，计算机的基本组成与应用，计算机系统的层次结构和构成计算机的电路基础知识等。第 3 章介绍计算机中数据的表示和运算方法，以及运算器的功能和结构。第 4 章介绍计算机中的存储器，包括主存储器工作原理、计算机的存储系统、高速缓冲存储器与辅助存储器等。第 5 章介绍计算机的指令系统。第 6 章至第 8 章主要讲解中央处理器 CPU，内容包括 CPU 的功能与结构，控制单元的功能与结构，控制单元的基本设计原理等。第 9 章介绍计算机总线系统。第 10 章介绍输入/输出系统与常见的 I/O 设备。

由于计算机技术的发展非常快，新知识、新技术层出不穷，作为一门专业基础课，没有必要去刻意求新。本书立足于基本原理和基本思想，同时简单介绍近些年广泛使用的一些较新技术，希望本书的使用者也能着重于基本原理的理解，而不致被众多的、风格各异的计算机结构及组成所迷惑。

计算机组成原理课程具有知识面广、内容多、难度大等特点。本书在内容的安排上，重点突出，简化了辅助存储器、输入输出设备等部分的介绍内容，强调 CPU 的结构与设计原理。考虑到有些高校在教学中有用 VLSI 实现简单 CPU 的实践内容，在附录部分简单介绍了 MAX+plus II 软件和 VHDL 语言的基本知识。

本书参考理论课时为 64 学时，另可根据情况加入实验学时，课时分配建议如下：

章节	理论课时
第 1 章 计算机系统概论	4 学时
第 2 章 计算机逻辑部件基础	2 学时
第 3 章 计算机中信息的表示和数值运算	14 学时
第 4 章 存储器层次结构	12 学时
第 5 章 指令系统	8 学时
第 6 章 CPU 的功能与结构	3 学时
第 7 章 控制单元 CU	8 学时
第 8 章 控制单元的设计	4 学时
第 9 章 系统总线	3 学时
第 10 章 输入输出系统	6 学时
合计	64 学时

本书由马辉、王丁磊任主编，张莉、高峰、王瑞庆任副主编。其中第 1、2、5 章由张莉编写，第 3 章由王丁磊编写，第 4 章由高峰编写，第 9、10 章由王瑞庆编写，第 6、7、8 章由马辉编写。另外参加本书绘图、录入、校对等编写工作的还有李晶晶、田喜平、聂彦召、王继鹏、史小松、韩莉丽、刘璐、闫培培等。值此出版之际，感谢王爱民教授与雷顺加总编为本书的编写和出版所做的一系列工作。

由于作者水平有限，编写时间紧迫，书中不妥之处难免，望本书的使用者能不吝赐教。

编 者

2009 年 10 月

目 录

前言

第1章 计算机系统概论	1	2.3.3 多路选择器	26
1.1 计算机的发展与应用	1	2.4 时序逻辑电路	26
1.1.1 计算机的产生	1	2.4.1 触发器	26
1.1.2 计算机的发展	2	2.4.2 计数器	27
1.1.3 微型计算机的产生与发展	2	2.5 数字系统设计简介	28
1.1.4 计算机的应用	3	2.5.1 数字系统设计方法	28
1.1.5 计算机的未来展望	4	2.5.2 可编程逻辑器件简介	29
1.2 计算机的基本组成	5	本章小结	31
1.2.1 计算机软、硬件的概念	5	习题2	31
1.2.2 计算机硬件的基本组成	5	第3章 计算机中信息的表示和数值运算	33
1.2.3 指令与软件	7	3.1 数制与编码	33
1.2.4 计算机的工作过程	7	3.1.1 进位计数制及其相互转换	33
1.3 计算机系统简介	10	3.1.2 十进制数的编码	36
1.3.1 计算机系统的层次结构	10	3.1.3 字符与字符串编码	37
1.3.2 计算机组成与计算机体系结构	11	3.1.4 汉字及其他信息的编码表示	39
1.4 计算机主要性能指标	12	3.1.5 校验码	41
1.4.1 CPU 的相关指标	12	3.2 数值数据的表示	45
1.4.2 存储器的相关指标	13	3.2.1 真值和机器数	45
1.4.3 计算机系统的相关指标	14	3.2.2 无符号数和有符号数	46
本章小结	15	3.2.3 定点表示和浮点表示	51
习题1	16	3.2.4 IEEE 754 标准	54
第2章 计算机逻辑部件基础	18	3.3 定点数的运算	56
2.1 数字电路基础	18	3.3.1 移位运算	56
2.1.1 半导体材料和晶体二极管简介	18	3.3.2 补码加减运算与溢出	58
2.1.2 双极型三极管的结构及其伏安特性	19	3.3.3 乘法运算	61
2.1.3 MOS 管的结构及其工作特性	21	3.3.4 除法运算	69
2.2 布尔代数与门电路	21	3.4 浮点数的运算	73
2.2.1 布尔代数	21	3.4.1 浮点数的加减运算	73
2.2.2 基本逻辑运算与复合逻辑运算	22	3.4.2 浮点数的乘除运算	75
2.2.3 门电路	23	3.5 算术逻辑单元 ALU	76
2.3 组合逻辑电路	23	3.5.1 串行加法器和并行加法器	76
2.3.1 加法器	24	3.5.2 ALU 的功能和结构	78
2.3.2 译码器	25	本章小结	80

习题 3	81	5.1.3 指令字长	140
第 4 章 存储器层次结构	85	5.2 操作数类型和操作类型	141
4.1 存储器概述	85	5.2.1 操作数类型	141
4.1.1 存储器的分类	86	5.2.2 数据在存储器中的存放方式	141
4.1.2 存储器的性能指标	87	5.2.3 操作类型	142
4.1.3 存储器的层次化结构	88	5.2.4 Pentium 机器数据类型和操作类型	143
4.2 半导体随机存取存储器	89	5.3 指令的寻址方式	145
4.2.1 SRAM 存储器	90	5.3.1 指令寻址	145
4.2.2 DRAM 存储器	93	5.3.2 数据寻址	146
4.3 只读存储器	98	5.4 CISC 与 RISC 技术	150
4.4 主存储器与 CPU 的连接	101	5.4.1 指令系统的发展	150
4.5 高性能存储器介绍	106	5.4.2 RISC 的特点	151
4.5.1 提高主存性能的措施	106	5.5 指令格式举例	152
4.5.2 双口 RAM 和多模块存储器	108	5.5.1 设计指令格式应考虑的因素	152
4.5.3 DRAM 技术的发展	109	5.5.2 指令格式举例	153
4.6 高速缓冲存储器	112	本章小结	158
4.6.1 程序访问的局部性	112	习题五	158
4.6.2 Cache 的基本工作原理	112	第 6 章 CPU 的功能与结构	162
4.6.3 Cache 与主存的地址映像方式	114	6.1 CPU 的功能	162
4.6.4 Cache 的替换算法与写策略	116	6.2 CPU 的基本结构	163
4.6.5 Cache 应用举例	117	6.2.1 CPU 的结构框图	163
4.7 虚拟存储器	118	6.2.2 CPU 的寄存器结构	163
4.7.1 虚拟存储器的基本概念	118	6.2.3 控制单元与中断系统	166
4.7.2 段式虚拟存储器	119	6.2.4 CPU 内部数据通路	168
4.7.3 页式虚拟存储器	120	6.3 CPU 的外部特性	170
4.7.4 段页式虚拟存储器	121	6.3.1 8086 的引脚定义	170
4.7.5 快表 TLB	122	6.3.2 80386 的引脚定义	171
4.8 辅助存储器介绍	123	本章小结	172
4.8.1 辅存概述	123	习题 6	173
4.8.2 磁记录原理与记录方式	124	第 7 章 控制单元 CU	174
4.8.3 硬磁盘存储器与磁盘阵列	125	7.1 控制器的功能与组成	174
4.8.4 磁带存储器	129	7.1.1 控制器的功能	174
4.8.5 光盘存储器	130	7.1.2 控制器的组成	175
本章小结	131	7.2 指令周期与多级时序系统	176
习题 4	132	7.2.1 指令周期的概念	176
第 5 章 指令系统	137	7.2.2 多级时序系统	178
5.1 指令格式	137	7.2.3 多级时序系统举例	179
5.1.1 指令的基本格式	137	7.3 指令的执行过程	182
5.1.2 定长操作码与扩展操作码	139	7.4 控制方式	184

7.5 指令流水线·····	185	第 10 章 输入输出系统·····	238
7.6 动态流水线的概念·····	191	10.1 输入输出系统基本概念·····	238
7.7 超标量的基本概念·····	192	10.1.1 输入输出系统的发展概况·····	238
7.8 CPU 举例·····	196	10.1.2 输入输出系统的组成·····	239
7.8.1 RISC 的 CPU 结构·····	196	10.1.3 I/O 设备与主机的联系方式·····	239
7.8.2 RISC 的编译优化·····	199	10.1.4 I/O 与主机信息传送的控制方式·····	240
本章小结·····	199	10.2 外部设备举例·····	242
习题 7·····	200	10.2.1 输入设备·····	242
第 8 章 控制单元的设计·····	203	10.2.2 输出设备·····	244
8.1 硬布线控制器设计·····	203	10.3 I/O 接口·····	245
8.1.1 硬布线控制的基本方法·····	203	10.3.1 概述·····	245
8.1.2 硬布线控制器的组成·····	204	10.3.2 接口的功能和基本结构·····	246
8.1.3 硬布线控制器的设计·····	205	10.3.3 接口类型·····	247
8.2 微程序控制器设计·····	206	10.3.4 I/O 端口及其编址·····	248
8.2.1 微程序设计思想的产生·····	206	10.4 程序查询方式·····	249
8.2.2 微程序控制的基本原理·····	207	10.4.1 程序查询流程·····	249
8.2.3 微指令的编码方式·····	211	10.4.2 程序查询方式的接口电路·····	250
8.2.4 微地址的形成方式·····	213	10.5 程序中断方式·····	251
8.2.5 微指令格式及执行方式·····	214	10.5.1 中断的基本概念·····	251
本章小结·····	216	10.5.2 中断的响应、处理过程·····	253
习题 8·····	217	10.5.3 多重中断处理·····	254
第 9 章 系统总线·····	220	10.5.4 程序中断方式的接口电路·····	255
9.1 总线概述·····	220	10.5.5 中断控制器举例·····	256
9.1.1 总线的基本概念·····	220	10.6 DMA 方式·····	257
9.1.2 总线的分类·····	221	10.6.1 DMA 方式的特点·····	258
9.2 总线的组成与连接方式·····	223	10.6.2 DMA 控制器的功能和组成·····	259
9.2.1 总线的基本组成·····	223	10.6.3 DMA 传送过程·····	260
9.2.2 总线的基本连接方式·····	223	10.7 通道方式·····	261
9.3 总线特性与性能指标·····	226	10.8 外设接口举例·····	264
9.3.1 总线特性·····	226	本章小结·····	266
9.3.2 总线性能指标·····	226	习题 10·····	267
9.4 总线仲裁与总线操作·····	228	附录 1 阵列乘法器与阵列除法器·····	270
9.4.1 总线仲裁·····	228	附录 2 74181 与 AM2901·····	272
9.4.2 总线操作·····	229	附录 3 相联存储器·····	275
9.5 总线标准举例·····	232	附录 4 MAX+plus II 软件·····	277
本章小结·····	235	附录 5 VHDL 语言·····	280
习题 9·····	236	参考文献·····	284

第 1 章 计算机系统概论



本章导读

本章首先介绍电子数字计算机的发展历程与应用情况，其中也包括微型计算机的产生和发展；然后讲述计算机的基本组成情况，内容包括计算机硬件的基本组成、软件的分类和计算机系统的层次结构。同时通过一个简单模型机结构，讲解计算机执行程序的工作流程；最后介绍计算机主要性能指标，如吞吐量、响应时间、CPU 时钟周期、主频、CPI、CPU 执行时间、MIPS、MFLOPS 等。



本章要点

- 计算机发展历程
- 计算机系统层次结构
- 计算机硬件的基本组成
- 计算机软件的分类
- 计算机的工作过程
- 计算机性能指标

1.1 计算机的发展与应用

1.1.1 计算机的产生

计算的需求是伴随着人类的产生和发展一直存在的，因此，很早就有一些计算工具被发明出来应用于人类的生活中，如中国的算盘。在 20 世纪中叶之前的 300 年里，一系列由齿轮、杠杆和滑轮构成的越来越复杂的机械装置，用来做基本的加、减、乘、除操作。穿孔卡片上的孔被机器感知后自动控制一系列的运算，可以计算完整的对数表和使用多项式近似的三角函数表，输出结果被穿孔在卡片上或打印在纸上。在第二次世界大战期间，电动机械传动设备为此类计算工具提供了更强更快的计算能力。

但我们现在所说的计算机一般是指电子数字计算机，它的诞生可以认为是在 1946 年。在第二次世界大战的后期，因为战争的需要，美国国防部在 1943 年批准了由宾夕法尼亚大学 John Mauchly 教授和 John Presper Eckert 工程师提出的建造一台用电子管组成的 ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer) 电子数字积分机和计算机的计划，用它来解决当时国防弹道研究实验室为计算新武器的射程和检测模拟运算表的任务。

ENIAC 于 1946 年交付使用，其首要任务就是完成了一系列测定氢弹可靠性的复杂计算。ENIAC 采用十进制运算，电路结构十分复杂，使用 18000 多个电子管，运行时耗电量约达 150 千瓦，重量达 30 吨，占地面积为 1500 平方英尺，而且需用手工扳动开关和插、拔电缆来编制

程序，但它却比任何机械计算机快得多，每秒可进行 5000 多次加法运算。

ENIAC 的出现意义不仅仅是实现了制造一台通用计算机的目标，更重要的是将计算工具的发展推进到了一个崭新的空间，是人类文明发展史中的一个里程碑。

1.1.2 计算机的发展

自从 ENIAC 问世后，人类研制电子计算机并提高其性能的欲望就从未减退过，并在 20 世纪 50 年代初，很多发达国家相继研制出了本国的第一台电子计算机，我国也于 1958 年研制成功了自己的第一台电子计算机。

半个多世纪以来，根据电子计算机所采用的物理器件的改变，一般把电子计算机的发展分成四个阶段，习惯上称为四代。相邻两代计算机之间时间上有重叠。

第一代：电子管计算机时代，从 ENIAC 诞生到 20 世纪 50 年代后期。其主要特点是采用电子管作为计算机的基本器件。在这一时期，计算机运算速度一般为每秒几千次至几万次，体积庞大，成本很高，可靠性较低，主要为军事与国防尖端技术的需要而研制，并进行计算机有关的研究工作，为计算机技术的发展奠定了基础，形成了计算机的基本体系。后来其研究成果扩展到民用，又转为工业产品，逐渐形成了计算机工业。

第二代：晶体管计算机时代，从 20 世纪 50 年代中期到 60 年代后期。这一时期计算机的主要器件逐步由电子管改为晶体管，因而缩小了体积，降低了功耗，提高了速度和可靠性。后来又采用了磁芯存储器存放信息，使计算机运行速度得到进一步提高。

第三代：集成电路计算机时代，从 20 世纪 60 年代中期到 70 年代前期。这一时期的计算机采用中、小规模集成电路（MSI、SSI）作为基本器件，因此功耗、体积、价格等进一步下降，而速度及可靠性相应地提高，促进了计算机的应用范围进一步扩大。IBM360 系统是最早采用集成电路的通用计算机，也是影响最大的第三代计算机，另一个代表机器是 DEC 公司的 PDP-8，它的成功使得 DEC 成为继 IBM 之后的第二大计算机制造商。

第四代：大规模、超大规模集成电路计算机时代，这一时期的计算机主要采用大规模、超大规模集成电路（LSI、VLSI）作为基本器件，可靠性更进一步提高，体积更进一步缩小，成本更进一步降低。目前使用的计算机都还属于第四代计算机。这一时期，出现了掀起计算机普及应用大浪潮的微型机。

我国对现代电子计算机的研究始于 20 世纪 50 年代初，分别于 1958 年和 1959 年推出了 103 小型数字计算机和 104 大型通用数字计算机，它们属于第一代电子管机。1965~1966 年间分别推出了晶体管计算机 109 机、441B 机和 X-2 机，中国进入晶体管机时代。中国集成电路计算机的研究始于 1965 年，直到 1971 年和 1973 年由原四机部主持研制 100 系列机和 200 系列机进行量产。可见，我国一、二、三代机的推出比世界上一、二、三代机晚了整整一代，但这些机型的推出，对我国计算机工业的诞生与发展，特别是计算机人才的培养起了十分积极的作用。

1.1.3 微型计算机的产生与发展

集成电路技术的进步使得人们可以将成千上万的门电路全部都集成在一块极小的硅片上，这样就可以把计算机的控制单元和算术逻辑单元集成到一个芯片上，制成微处理器芯片，进而构成微型计算机。

1971年,美国 Intel 公司的年仅 31 岁的工程师霍夫研制出了世界上第一个 4 位的微处理器芯片,这就是 Intel 4004。它集成了 2300 多个晶体管,能完成 4 位数据的运算。进一步出现了用它作为处理器的 MCS-4 计算机,这就是世界上最早的微型计算机。

微型计算机具有独特的优点:体积小,重量轻,可靠性高,结构配置灵活,价格低廉,从而发展迅猛。从 1971 年问世以来,几乎每隔两、三年就推出一代新的微处理器。微处理器的发展代表了微型机的发展,下面以 Intel 公司的产品为代表,来看一下微处理器的发展情况。

在 1972 年,Intel 公司又推出了 8 位的微处理器 8008,它比 4004 要复杂一倍。在 1974 年,Intel 公司推出了 8080,它和 8008 一样都是 8 位,但却是为通用微机设计的通用微处理器,集成度达 4500 只晶体管,用它构成的微型计算机在结构上已具有现代计算机的基本体系结构,有中断和 DMA 等功能。

1978 年,16 位微处理器被研发出来,Intel 公司推出了 16 位微处理器 8086,集成度达 29000 只晶体管,后来又推出了 8088、80286 微处理器。IBM 公司用这些微处理器和 Microsoft 公司的 MS-DOS 操作系统配合,推出了 IBM PC 机、IBM PC/XT 机和 IBM PC/AT 机等微型机,它们具有设计先进、功能齐全、软件丰富、价格便宜等优点,投放市场后迅速占领了市场,促进了个人计算机的应用与推广。

1985 年,Intel 公司推出了 32 位的微处理器芯片 80386,集成了 27.5 万只晶体管,除了主频速度大大提高之外,还将原来处在芯片外的一些电路也集成到了芯片内部,功能得到增强,使得 32 位 CPU 成为了 PC 工业的标准。在此之后,Intel 公司又推出了一系列的 32 位微处理器芯片,如 1989 年的 80486、1993 年的 Pentium、1995 年的 Pentium Pro (高能奔腾)、1997 年的 Pentium II、1999 年的 Pentium III、2000 年的 Pentium 4 等。人们习惯上就用这些不同微处理器的型号来称呼所相应构成的微型计算机。

现在,除了 32 位的微处理器芯片外,各处理器生产厂家也开发了一些 64 位的微处理器,例如:Intel 的“安腾”系列微处理器。但现在微处理器芯片的开发除了提高字长和追求工作频率的提高外,也已经转向了多个核心的发展方向。综观微处理器的发展历程,芯片内所集成的晶体管数目,每隔 18~24 个月就要翻一番,符合了 Intel 公司开创人之一的 Moore 于 1965 年提出的预言,人们一般称其为摩尔定律。

1.1.4 计算机的应用

早期的计算机是大学和研究机构的娇贵设备,后来随着价格的降低和软件的迅速发展完善,计算机走出了大学和研究室,迅速渗透到了各行各业。近年来计算机技术和通信技术相互结合,配合上 Internet 网络的普及,计算机以更多的方式应用到更多的领域,同时还出现了许多与计算机相关的新行业。

1. 科学计算

计算机最初设计的主要目的就是为了完成各种复杂、烦琐的运算,发展到现在,科学计算仍然是计算机的重要应用领域之一。例如,在天文学、量子化学、空气动力学、核物理学等领域中,都需要依靠计算机进行复杂的运算。科学计算的特点是计算量大和数值变化范围大。

2. 数据处理

随着计算机在社会生活各行业中的普及,数据处理成了当前计算机最普及最广泛的应用

领域之一。例如政府机关公文、档案的管理，大公司、大企业的财务、人事信息的管理，各种信息的统计检索等。数据处理具有输入输出数据量大而计算却很简单的特点。

3. 计算机控制

在现代化工厂里，计算机普遍用于生产过程的自动控制。通过传感器获得的各种物理信号经转换为数据信号后，可通过计算机进行判断和处理，然后发出控制信号驱动执行机构进行调整，从而达到控制的目的。这种应用已被广泛用于冶金、机械、纺织、化工、电力、造纸等行业中。

4. 计算机辅助

计算机辅助设计（CAD）、计算机辅助制造（CAM）、计算机辅助教学（CAI）等各项应用在 20 世纪 70 年代中期就已开始，给传统的生产发展带来了革命性的变化。如飞机、船舶、超大规模集成电路、乃至新计算机的设计制造等，都要采用计算机辅助进行。

5. 人工智能

人工智能是用计算机模拟人类的智能活动，如模拟人脑学习、推理、判断、理解、问题求解等，帮助人类做出决策。人工智能是计算机科学研究领域最前沿的学科，近年来已具体应用于机器人、医疗诊断等方面。

6. 多媒体应用

多媒体技术是计算机技术和视频、音频及通信等技术集成的产物，除了可以利用计算机对多种媒体信息进行采集、存储、编辑、管理和传输外，还可以利用计算机创新、设计出各种多媒体信息。具体应用如视频点播、动画设计、电影特效制作等。

7. 网络应用

网络的发展离不开计算机技术的进步，同时网络又拓宽了计算机的应用领域，人们通过计算机连接到网络上可以方便地同全世界进行联系，真正实现了“地球村”的设想。它的具体应用如电子商务、电子政务、网游、现代远程教育等。

1.1.5 计算机的未来展望

从 1946 年 ENIAC 问世以来，计算机技术的进步推动了计算机的发展和广泛的应用，不仅出现了各式各样和各种体系结构的计算机，同时也使得计算机成为了人类生产、生活中最有力的助手。

1989 年，电气与电子工程师协会 IEEE（Institute of Electrical and Electronics Engineers）提出了计算机的分类报告，把计算机分为个人机（Personal Computer，简称 PC）、工作站（Work Station）、小型机（Minicomputer）、主机（Mainframe）、小巨型机（Mini super Computer）和巨型机（Super Computer）。其中巨型机体现了一个时代和一个国家的计算机水平，具有超强的计算和处理能力，如我国八、九十年代的“银河”系列巨型机。

随着社会需求的不断增长和微电子技术的不断发展，计算机越来越向着巨型化、微型化、网络化和智能化方向发展。在天气预报、航空航天等领域，要求计算量大且需实时处理，这只有巨型机才能担此重任。而在各种工业领域，既对计算速度有要求，又对计算机的体积、功耗有限制，所以出现了单片机和各种嵌入式系统。随着计算机在网络上使用的普及，使用者的计算机水平各不相同，同时对计算机也有了智能化和网络化的需求。

世界上不少科学家预言，到了 2046 年左右人类社会的几乎所有的知识和信息将全部融入

于电脑空间,而任何人在任何地方任何时间都可以通过网络,对所有的信息和知识进行在线获取。这种目标的实现在技术上还需要很大的突破,如计算机存储信息的容量,信息检索的速度,网络的带宽等。

计算机给未来的生活会带来巨大的影响是不容置疑的,这不但要求社会各行各业有很多计算机的熟练应用人才,也需要很多计算机专业人才来推动计算机技术本身的进步。我国现在尽管开发出了“龙芯”系列微处理器和“曙光”系列超高速巨型机,但计算机总体水平还比较落后,这需要我们的有志青年去为之奋斗和改变。

1.2 计算机的基本组成

1.2.1 计算机软、硬件的概念

计算机系统由“硬件”和“软件”两大部分组成。所谓“硬件”部分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,如显示器、键盘等。我们把由这些硬件设备构成的计算机称为“裸机”。它是计算机功能的基础。

软件部分是计算机程序及其有关文档,也包括被版本化了的有关计算机的使用方法的信息。它可以用来控制计算机硬件的工作,使计算机能按照一定的步骤去解决某些实际问题或体现出一定的智能。软件分为系统软件和应用软件两大类。系统软件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,确保高效运行,它包括操作系统、诊断程序、计算机语言处理程序等;应用软件包括厂家出售的通用软件 and 用户自己编写的应用程序,如科学计算程序、数据处理程序、事务管理程序等。

计算机的硬件是计算机功能得以实现的基础,而软件是功能的描述和体现。因此,计算机性能的好坏,取决于“软”、“硬”件功能的总和。在早期的计算机中,硬件和软件之间的界限十分清楚,但随着时间的推移和技术的进步,界限变得越来越模糊。如出现了固件(Firmware),它是将一些固定的软件内容放到了高速的只读存储器中,属于软硬件的混合物。

硬件和软件在逻辑功能上是等价的。任何由软件实现的操作都可直接由硬件来完成,任何由硬件实现的功能也可以由软件来模拟。将某个具体的功能交由硬件实现还是软件实现,是根据当时的技术、速度、可靠性等因素来决定的,并且不是固定不变的。一般来说用硬件实现某个功能的优点是速度快;而用软件实现的优点是灵活、系统结构简单。

1.2.2 计算机硬件的基本组成

组成计算机的硬件设备非常多,但大体上可分为中央处理器 CPU(运算器和控制器)、存储器和输入/输出设备,这个划分是由数学家冯·诺依曼提出来的。当时冯·诺依曼等人在研究 EDVAC 计算机,他在 1946 年 6 月的“电子计算机装置逻辑结构初探”报告中提出了关于计算机基本结构的一些设想,主要包括:

(1) 计算机由运算器、存储器、控制器和输入设备、输出设备五大部件组成。

(2) 采用存储程序的方式,程序和数据放在同一个存储器中,指令和数据一样可以送到运算器运算,即由指令组成的程序是可以修改的。

(3) 指令和数据均用二进制码表示。

(4) 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存放的位置。

(5) 指令在存储器内按执行顺序存放, 由指令计数器指明要执行的指令所在的单元地址。通常指令是按顺序执行的, 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。

(6) 机器以运算器为中心, 输入输出设备与存储器的数据传送通过运算器。

这些观点奠定了现代计算机的基本结构体系, 人们习惯上将具有这些结构的计算机称为冯·诺依曼计算机。半个多世纪以来, 随着技术的发展和 new 应用领域的开拓, 对冯·诺依曼机作了很多改进。如某些机器结构中, 程序与数据分开存放在不同的存储器中; 程序不允许修改; 机器不再以运算器为中心, 而是以存储器为中心等。但基本原则变化不大, 所以仍被称为冯·诺依曼结构的计算机。现代以存储器为中心的计算机硬件结构框图如图 1-1 所示。

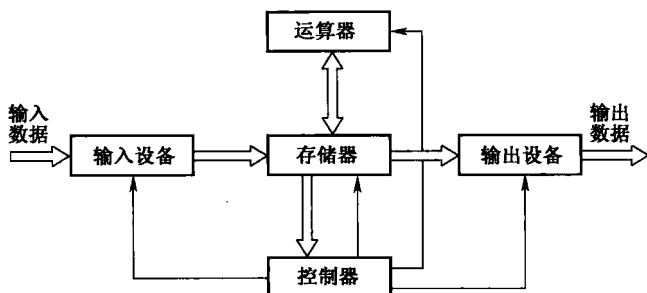


图 1-1 以存储器为中心的计算机硬件结构框图

输入设备用来输入原始数据和处理这些数据的程序。大家最熟悉的输入设备就是键盘。当一个键被敲击时, 相应的字母或数字就会自动被转换成相应的二进制码传送到计算机内部。还有许多其他类型的输入设备, 它们都能把各种信息转变成计算机能识别的形式并送到计算机内部。

输出设备是将计算机处理结果的二进制信息转换成人类或其他设备能接收和识别的形式, 输出的可以是数字、字母、表格、图形、图像、声音等。常用的输出设备有: 打印机、显示器、绘图仪、音响等。

存储器用来存放程序和数据, 是计算机各种信息的存储和交流中心。它可以与 CPU、输入输出设备交换信息, 起存储、缓冲、传递信息的作用。存储器又有主存储器和辅助存储器之分, 当前在计算机上运行的程序和数据是存放在主存储器中的。为了在存储器中能很容易找到任何一个信息, 对每个信息存放的单元都分配了一个顺序编号, 称为单元地址, 用二进制编码表示。存储单元地址与存储在其中的信息是一一对应的。为了区分开这两个信息, 我们常用 A 代表一个存储单元地址, 用(A)来表示存储在该单元内的数据信息。每个单元对应的地址只有一个且固定不变, 而存储在其中的信息是可以更换的。

运算器是对信息或数据进行处理和运算的部件, 计算机经常进行的是算术运算和逻辑运算, 所以在其内部有一个算术逻辑运算部件 ALU。算术运算是按照算术规则进行的运算, 如加、减、乘、除、求绝对值、求负值等。逻辑运算一般是非算术性质的运算, 例如比较大小、移位、逻辑与、逻辑或等。通常为了能实现快速的运算, 在运算器内还包含一些能提供运算数据及保存运算结果的寄存器单元。

存储器、运算器和输入输出设备对信息进行存储和处理，然后执行输入和输出操作。而这些设备的操作必须按照一定的方式互相协调，这就是控制器的工作。控制器主要用来实现计算机本身运行过程的自动化，即实现程序的自动执行。它能将控制信号传送到其他设备并检测它们的状态。随着集成电路集成度的增加，现代计算机中已经把运算器和控制器做到了一个集成电路芯片内，称为中央处理器 CPU（Central Processing Unit）。

1.2.3 指令与软件

计算机的软件是根据解决问题的方法、思想和过程编写的程序的有机集合，它可分为系统软件和应用软件两大类。所谓程序指的是指令的有序集合，一台计算机中全部程序的集合，统称为这台计算机的软件系统。一台计算机所能执行的指令的全部集合，称为这台计算机的指令系统（Instruction Set）。

指令是指指挥计算机完成特定操作的命令。计算机所能认识的指令属于机器语言，是指能直接指挥计算机硬件工作的命令，也叫机器码，用二进制编码表示。

在早期的计算机中，使用机器自身能识别的机器语言来编写程序。由于机器不同，机器语言也不同，因此人们在不同的机器上编程，就需要熟悉不同机器的机器指令，使用极不方便，写出的程序也很难阅读。因此在 20 世纪 50 年代后，逐渐产生了用与机器语言相对应的符号（称为助记符）来编写的程序，这种符号语言后来就发展成了汇编语言，但它们仍是面向机器的，即不同的机器各自有不同的汇编语言。同时机器硬件不认识汇编语言，所以必须通过叫做汇编程序的软件把它转换成机器语言后才能在机器上得到执行。

为了摆脱对具体机器的依赖，在汇编语言之后又出现了面向问题的高级语言。使用高级语言编程可以不了解机器的结构，高级语言的命令通常是一个英语词汇，词义本身反映出命令的功能，比较接近人们习惯使用的自然语言和数学语言，使程序具有很强的可读性。但为了使高级语言描述的算法和相应的程序能在机器上执行，同样需要一个翻译系统，于是产生了编译程序和解释程序，它们能把高级语言翻译成机器语言。

可见，随着各种语言的出现，汇编程序、编译程序、解释程序的产生，逐渐形成了软件系统。另一方面，随着计算机应用领域的不断扩大，外部设备的增多，为了方便对计算机各种软硬件资源的管理，又出现了操作系统。后来又出现了数据库管理系统和网络支持软件等。

上述各种软件属于系统软件，而软件发展的另一个主要内容就是应用软件。应用软件种类繁多，是用户在各自己的行业中开发和使用的各种程序。如管理财务的各种财务软件、办公用的文字处理和排版软件、日常事务和图文报表处理的电子表格和数据库软件、帮助工程设计的 CAD 软件以及各种实用的网络通信软件等。

1.2.4 计算机的工作过程

前面介绍了计算机的软硬件组成，接下来看一个简单的计算例子，通过对它在计算机中的执行过程的分析，来了解计算机的软硬件各种资源是如何配合来完成具体的工作的。为了理解这一运算过程，首先需要对计算机内的硬件结构有一个更深入的了解。

假设某计算机组成框图如图 1-2 所示。

其中运算器包括两个寄存器和一个算术逻辑电路 ALU。ALU 完成运算功能，寄存器中 ACC（Accumulator）为累加器，X 为操作数寄存器，它们共同向 ALU 提供参与运算的数据。

ACC 除了提供参与运算的数据外,还用来保存运算的中间结果,并能再次把中间结果送到 ALU 参加运算, 所以被称为累加器。

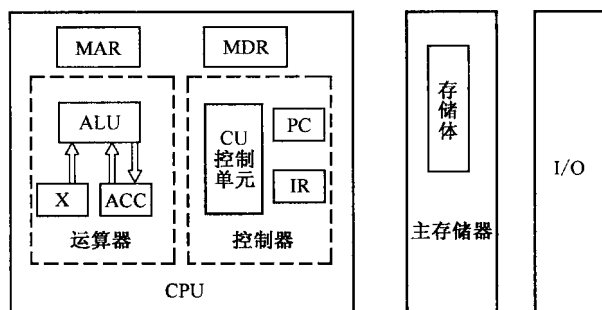


图 1-2 细化的计算机组成框图

控制器负责指挥全机各部件自动、协调地工作,而控制的依据就是表示需要计算机做什么操作的指令。具体而言,它首先要命令存储器读出一条指令,这叫做取指过程。接着,它要对这条指令进行分析,指出该指令要完成什么样的操作,并按寻址特征指明操作数的地址,这叫分析过程。最后,根据操作数所在的地址,取出操作数并完成某种运算操作,这叫执行过程。以上就是通常所说的完成一条指令操作的取指、分析和执行三个阶段。

控制器部分包括程序计数器 PC (Program Counter)、指令寄存器 IR (Instruction Register) 以及控制单元 CU (Control Unit)。PC 用来存放当前欲执行指令的地址,它具有自动加 1 的功能,可自动形成下一条指令的地址。IR 用来存放当前的指令编码,指令的内容包括表示操作性质的操作码 OP 和参与操作的操作数存放地址的地址码部分,是控制器发出各种命令的依据。而 CU 就是对指令的操作码 OP 进行分析并按一定顺序发出各种控制命令的部件。

存储器包括存储体、各种逻辑部件及控制电路等。存储体是各种信息存放的具体位置,它由许多存储单元组成,每个存储单元又包含若干个存储元件(每个存储元件能存放一位二进制代码“0”或“1”)。我们通常把一个存储单元称为一个存储字,把一个存储单元包含的二进制代码的个数称为存储字长。为了方便地访问到各个存储单元,我们按顺序给每一个存储单元分配了一个唯一编号,称为存储单元的地址,这样就可以按存储单元的地址号来实现对存储字的存(写入)、取(读出)。为了实现这种操作,我们给主存配置两个寄存器 MAR (Memory Address Register) 和 MDR (Memory Data Register)。MAR 用来存放要访问的存储单元的地址,MDR 用来存放从存储体单元取出的代码或者准备往某存储单元存入的代码。随着硬件技术的发展,主存都制成大规模集成电路的芯片,而将 MAR 和 MDR 制作在 CPU 芯片内。

输入输出 (I/O) 系统包括各种外部设备及相应的接口。它接受 CU 发出的各种控制命令并完成相应的输入输出等操作。

在此假设计算机要完成的运算是 $ax+b$,它在高级语言里的表示形式和数学语言非常接近,比如在 C 语言中是 $a*x+b$,但是计算机不认识这样的形式,所以要把该表达式转换成机器硬件能识别的机器语言表示才能在机器上得到执行。对用 C 语言编写的程序来说,在计算机上的转换及执行过程如图 1-3 所示。

分析 $ax+b$ 的操作,可以分为以下几个基本步骤:

- (1) 取 x 至运算器中;

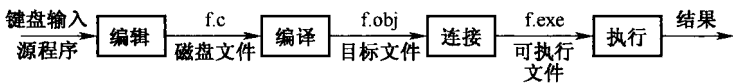


图 1-3 C 语言程序在计算机上的执行过程

- (2) 乘以 a，得到 ax，存于运算器中；
- (3) 加 b，得到 ax+b，存于运算器中。

将上述操作步骤表示成某计算机对应的机器指令，就可以在计算机上执行（本书不讨论编译过程的细节，所以手动将其转换为机器指令）。设某机的指令字长为 16 位，其中操作码 OP 占 6 位，地址码占 10 位。操作码表示机器所执行的各种操作，如取数、存数、加、减、乘、除、停机、打印等。表 1-1 列出了与上例有关的操作码及其对应的操作性质。

表 1-1 操作码与操作性质的对应表

操作码	操作性质
000001	取数——将指令地址码指示的存储单元中的操作数取到运算器的累加器 ACC 中
000010	存数——将 ACC 中的数存至指令的地址码指示的存储单元中
000011	加——将 ACC 中的数与指令地址码指示的存储单元中的数相加，结果存于 ACC 中
000100	乘——将 ACC 中的数与指令地址码指示的存储单元中的数相乘，结果存于 ACC 中
000101	打印——将指令地址码指示的存储单元中的操作数打印输出
000110	停机

此例中所用到的数 a、b、x，假设事先已存入存储器的相应单元内。依据 ax+b 的运算过程，用上述机器指令可编写出一份运算的程序清单，程序和数据存放情况的假设如表 1-2 所示。

表 1-2 计算 ax+b 的程序清单

指令和数据存于主存单元的地址	指令		注释
	操作码	地址码	
0	000001	0000000110	取数 x 至 ACC 中
1	000100	0000000111	乘 a 得 ax 存于 ACC
2	000011	0000001000	加 b 得 ax+b 存于 ACC
3	000010	0000001001	存数，将 ax+b 存于主存单元
4	000101	0000001001	打印
5	000110		停机
6	x		原始数据 x
7	a		原始数据 a
8	b		原始数据 b
9			存放结果

程序编完后，进入上机操作的过程。启动机器后，控制器立即将程序计数器的内容送至主存的 MAR，并命令存储器做读操作，此刻主存“0”号单元的内容“0000010000000110”（程序的第一条指令）便被送入 MDR 内，然后由 MDR 送至控制器的 IR，完成了一条指令的取指