



普通高等院校计算机课程规划教材



Fundamentals of
Computer Hardware Technology

计算机 硬件技术基础

李云 葛桂萍 史庭俊 编著



机械工业出版社
China Machine Press

普通高等院校计算机课程规划教材

Fundamentals of
IT Hardware Technology

计算机 硬件技术基础

李云 葛桂萍 史庭俊 编著



机械工业出版社
China Machine Press

本书以“计算机组成原理”课程教学大纲为主线,围绕如何理解和构建一台简单的计算机硬件系统,全面而系统地讲解计算机组成原理,并兼顾数字电路与逻辑设计的基础内容,同时以最具代表性的 Intel 8086 为背景,扼要讲述微处理器及常用的接口电路的原理,此外还从计算机系统结构的角度讲述了提高计算机系统性能的各种方法和技术。

本书可以作为大专院校计算机专业、软件学院各专业以及电气信息类、机电类专业“计算机硬件技术基础”、“计算机组成与结构”等课程的教材,也可作为准备计算机科学与技术专业硕士研究生入学统考的学生和广大科技工作者学习计算机硬件知识的参考书。

封底无防伪标均为盗版

版权所有,侵权必究

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

图书在版编目(CIP)数据

计算机硬件技术基础/李云等编著. —北京:机械工业出版社, 2011.3
(普通高等院校计算机课程规划教材)

ISBN 978-7-111-33090-5

I. 计… II. 李… III. 硬件—高等学校—教材 IV. TP303

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 008009 号

机械工业出版社(北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:李 荣

三河市明辉印装有限公司印刷

2011 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

185mm × 260mm · 16.25 印张

标准书号:ISBN 978-7-111-33090-5

定价:30.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

客服热线:(010) 88378991; 88361066

购书热线:(010) 68326294; 88379649; 68995259

投稿热线:(010) 88379604

读者信箱:hzjsj@hzbook.com

前 言

本书的基本定位是满足大专院校计算机软件工程专业、软件学院各专业需要对计算机硬件技术有一定了解,同时无需安排多学时、多门课程的教学要求,以“计算机组成原理”课程教学大纲为主线,围绕如何理解和构建一台简单的计算机硬件系统,全面而系统地讲解计算机组成原理,并兼顾数字电路与逻辑设计的基础内容,同时以最具代表性的 Intel 8086 为背景,扼要讲述微处理器及常用的接口电路的原理,此外还从计算机系统结构的角度讲述提高计算机系统性能的各种方法和技术。

本书共分为 11 章,第 1 章介绍计算机系统的组成与工作原理,给出简单计算机系统的整体概念;第 2 章以计算机各部件中可能涉及的数字电路为目标,介绍数字电路与逻辑设计的基本知识以及计算机中常用的逻辑器件;第 3 章讲述计算机中的数据表示、运算方法及运算器的基本结构与实例;第 4 章讨论存储器的基本原理、半导体存储器的组成结构,并讲述交叉存储器、Cache 存储器和虚拟存储器等提高存储器性能的方法和技术;第 5 章介绍指令系统的基本概念、各种寻址方式和指令类型以及指令系统的分类和实例;第 6 章详细介绍控制器的功能、基本组成,以及微程序与硬布线两种实现方法和工作原理;第 7 章简要介绍计算机系统的总线规范及其相关技术;第 8 章讲述输入/输出系统的功能和组成、I/O 数据传送的控制方式等;第 9 章以 Intel 8086 微处理器为背景,讲述微型计算机的基本原理以及可编程中断控制器 8259A、并行接口 8255A 与串行接口 8251A、可编程计数器/定时器 8253 以及模/数(A/D)转换器和数/模(D/A)转换器等常用的接口电路;第 10 章介绍磁表面存储器、光盘存储器及常用的输入/输出设备的基本组成和工作原理;第 11 章讨论指令流水线、向量处理器、阵列处理器和多处理器系统等基本概念和工作原理,简要讲述提高计算机系统性能的各种方法和技术。

在编写本书的过程中,我们参考了大量的文献资料,吸取众家之长,并结合自己多年来从事计算机硬件方面的课程教学、计算机应用研究方面的实际经验,对全书的内容进行了精心的编排,力求做到内容衔接流畅、深浅适当、通俗易懂,覆盖知识面宽、叙述简练、重点突出,满足一门课程对计算机硬件系统涉及内容的讲解要求。

本书作者分工如下:第 1、6、9、11 章由李云编写,第 3、5、8、10 章由葛桂萍编写,第 2、4、7 章由史庭俊编写,本书的电子课件由史庭俊制作,本书由李云统稿。在本书大纲编写、内容审定过程中,南京大学徐洁磐教授提出了许多宝贵意见,在此表示深深的感谢。本书还得到了扬州大学出版基金资助。

由于作者水平有限,时间仓促,书中难免会有缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

编 者

2010 年 12 月于扬州大学

教学建议

教学内容	学习要点及教学要求	课时安排	
		偏硬件专业	偏软件专业
第1章 计算机系统概述	了解计算机系统的基本概念 熟悉冯·诺依曼计算机结构的特点 掌握计算机软件、硬件的基本组成 了解计算机系统的层次结构	2	2
第2章 计算机的逻辑部件	了解基本的逻辑运算 熟悉逻辑函数及其表示方法 了解逻辑函数的化简 掌握基本逻辑门电路、译码器、数据选择器等组合逻辑电路 掌握触发器、寄存器、移位寄存器、计数器等时序逻辑电路 了解可编程逻辑器件的特点	2~4	4~6
第3章 运算方法和运算器	了解进位计数制及转换方法 熟悉原码、反码、补码、移码的表示方法 重点掌握补码的特点及补码运算 熟悉数的定点和浮点表示 掌握定点加减运算、定点乘除运算、浮点加减乘除运算 了解溢出的概念,掌握溢出的判别方法 掌握半加器、全加器的概念 了解串行进位、并行进位的概念 掌握 ALU 的构成 了解定点运算器的结构形式 了解数据校验码,掌握奇偶校验码、海明码	10~14	8~10
第4章 主存储器与存储系统	熟悉存储器的分类 了解主存储器的主要技术指标 熟悉静态 RAM 和动态 RAM 的基本结构 熟悉 ROM 的主要类型和特点 掌握存储器容量的扩展 熟悉主存储器与 CPU 的连接方法 掌握线选法、部分译码、完全译码三种片选信号的产生方法 了解双端口存储器、相联存储器、多体交叉存储器等高速存储器 熟悉 Cache 的基本结构,掌握 Cache 的三种地址映像方式 了解虚拟存储器的概念,了解虚拟存储器的管理方式 掌握 Cache-主存与主存-辅存的不同点	10~12	8~10
第5章 指令系统	了解指令的基本格式 掌握操作码的定长和变长编码方法 掌握指令的寻址方式和操作数的寻址方式 了解常用的指令类型 熟悉 RISC 和 CISC 系统的特点	4~6	4~6
第6章 中央处理器	了解控制器的组成与功能 熟悉 CPU 中的常用寄存器 掌握指令周期、机器周期、时钟周期的概念 了解控制器的基本电路 掌握指令执行的基本过程 掌握微命令、微操作、微指令、微程序的概念 熟悉微程序控制器的基本原理 掌握微指令的编码法 了解微程序流的控制 熟悉微指令的格式 了解硬布线控制器的原理 了解控制器的控制方式	10~14	8~12

(续)

教学内容	学习要点及教学要求	课时安排	
		偏硬件专业	偏软件专业
第7章 总线技术	了解总线的基本概念 熟悉总线的标准及性能指标 掌握总线的仲裁方式 了解总线数据传输的过程及传输方式 熟悉常用的标准总线	2	2
第8章 输入/输出系统	了解输入/输出系统的功能 熟悉输入/输出设备的编址方式 掌握输入/输出数据传送的控制方式	2	2
第9章 微型计算机原理 及接口技术	熟悉16位微处理器8086的结构 了解32位微处理器Pentium的特点 了解8086的中断技术 熟悉串行通信和并行通信的特点 了解可编程并行接口8255A和可编程串行接口8251A的特点 了解计数器/定时器接口 了解数/模和模/数转换	0	8~10
第10章 外部设备	了解外部设备的分类 了解磁表面存储器的存储原理和记录方式 熟悉磁表面存储器的技术指标 掌握硬磁盘存储器的组成和分类 了解光盘的分类及特点	2~4	2~4
第11章 计算机系统结构	了解计算机系统结构的基本概念 熟悉流水控制方式 了解向量处理器与阵列处理器 了解多处理器系统	4	0
	教学总学时建议	48~64	48~64

说明：本教材是为计算机专业“计算机组成与结构”课程或计算机软件工程专业、软件学院各专业“计算机硬件技术基础”课程的教学要求编写的，建议课堂授课学时为48~64，可再安排一定学时的习题课；实验另外安排学时，建议为8~16学时。不同学校可以根据各自的教学要求和计划学时数对教材内容进行取舍。

课堂教学建议：

- ① 偏硬件专业的学生已学过数字电路、数字逻辑等相关内容，第2章可略讲。
- ② 偏硬件专业的后续课程为“微机原理及应用”，第9章可不讲。
- ③ 偏软件专业的学生在使用本教材时，可在保持总课时的前提下适当降低教学要求。

实验教学建议：

- ① 实验一：简单电路设计
- ② 实验二：运算器部件实验
- ③ 实验三：存储器部件实验
- ④ 实验四：总线实验

计算机科学与技术专业的学生可另行安排“微程序控制的计算机”的课程设计。

目 录

前言

教学建议

第1章 计算机系统概述 1

- 1.1 计算机的发展历程 1
- 1.2 计算机的组成与结构 3
 - 1.2.1 计算机硬件 3
 - 1.2.2 计算机软件 5
 - 1.2.3 计算机系统的层次结构 6
- 1.3 计算机的基本工作原理 7
- 1.4 计算机系统的分类及应用 8
 - 1.4.1 计算机系统的分类 8
 - 1.4.2 计算机系统的应用 12
- 1.5 计算机系统的性能指标 13
- 习题1 14

第2章 计算机的逻辑部件 15

- 2.1 逻辑代数基础 15
 - 2.1.1 基本逻辑运算 15
 - 2.1.2 逻辑函数及其表示方法 15
 - 2.1.3 逻辑代数的基本公式 17
- 2.2 逻辑函数的化简 18
 - 2.2.1 代数化简法 18
 - 2.2.2 卡诺图化简法 19
- 2.3 计算机中常用的组合逻辑电路 20
 - 2.3.1 基本逻辑门电路 20
 - 2.3.2 译码器 21
 - 2.3.3 数据选择器 22
- 2.4 时序逻辑电路 22
 - 2.4.1 触发器 22
 - 2.4.2 寄存器和移位寄存器 25
 - 2.4.3 计数器 27
- 2.5 可编程逻辑器件 PLD 28
 - 2.5.1 PLD 及其特点 28
 - 2.5.2 PLD 器件基础 29
 - 2.5.3 常用 PLD 器件简介 30

习题2 34

第3章 运算方法和运算器 35

- 3.1 数制与信息的编码表示 35
 - 3.1.1 进位计数制及其相互转换 35
 - 3.1.2 数值型数据的编码表示 37
 - 3.1.3 十进制数的二进制编码表示 41
 - 3.1.4 非数值型数据的编码表示 43
- 3.2 数的定点和浮点表示 45
 - 3.2.1 数的定点表示 45
 - 3.2.2 数的浮点表示 46
- 3.3 定点数的加减运算 47
 - 3.3.1 补码定点数的加减运算 47
 - 3.3.2 补码加减运算的实现电路 49
- 3.4 定点数的乘除运算 50
 - 3.4.1 原码一位乘法 50
 - 3.4.2 补码一位乘法 51
 - 3.4.3 原码一位除法 53
 - 3.4.4 补码一位除法 56
- 3.5 浮点数的运算方法 57
- 3.6 运算器的基本组成与结构 60
 - 3.6.1 运算器的基本组成 60
 - 3.6.2 算术逻辑运算单元 60
 - 3.6.3 定点运算器的结构 66
 - 3.6.4 浮点运算器的结构 67
- 3.7 数据校验码 69
 - 3.7.1 奇偶校验码 70
 - 3.7.2 海明校验码 70
 - 3.7.3 循环冗余校验码 72
- 习题3 74

第4章 主存储器与存储系统 76

- 4.1 存储器基本概念 76
 - 4.1.1 存储器的分类 76
 - 4.1.2 主存储器的主要技术指标 77
 - 4.1.3 存储器的组成和数据存放 77
 - 4.1.4 存储系统的层次结构 78

4.2 半导体存储器的结构和原理	79	6.1.4 控制器的实现方法	123
4.2.1 随机存储器 RAM	79	6.2 指令的执行过程	123
4.2.2 只读存储器 ROM	82	6.2.1 控制器的基本电路	123
4.2.3 存储器与 CPU 的连接	83	6.2.2 指令执行的基本过程	123
4.3 高速存储器	87	6.2.3 指令执行的微操作序列	124
4.3.1 双端口存储器	87	6.3 微程序控制器	126
4.3.2 多体交叉存储器	88	6.3.1 微程序控制的基本概念	126
4.3.3 相联存储器	89	6.3.2 实现微程序控制的基本原理	126
4.4 Cache 存储器	90	6.3.3 微指令编码法	129
4.4.1 Cache 基本结构和工作原理	90	6.3.4 微程序流的控制	130
4.4.2 Cache 存储器的地址映像	92	6.3.5 微指令格式及执行方式	133
4.4.3 Cache 中主存块的替换算法	95	6.3.6 微程序设计举例	134
4.4.4 Cache 写策略	96	6.4 硬布线控制器	138
4.5 虚拟存储器	96	6.4.1 硬布线控制器的设计步骤	138
4.5.1 虚拟存储器的基本概念	97	6.4.2 硬布线控制器的设计	139
4.5.2 主存-Cache 系统与主存-外存系统的差别	97	6.4.3 硬布线控制器与微程序控制器的比较	141
4.5.3 虚拟存储器管理方式	98	6.5 控制器的控制方式	141
习题 4	100	习题 6	142
第 5 章 指令系统	102	第 7 章 总线技术	144
5.1 指令格式	102	7.1 总线概述	144
5.1.1 指令的结构	102	7.1.1 总线的基本概念和种类	144
5.1.2 指令的操作码	102	7.1.2 总线标准及性能指标	144
5.1.3 指令的地址码	104	7.2 总线仲裁方式	145
5.1.4 指令长度	105	7.2.1 集中总线仲裁方式	145
5.2 寻址方式	105	7.2.2 分布总线仲裁方式	146
5.2.1 指令寻址方式	105	7.3 总线数据传输过程和传输方式	147
5.2.2 操作数寻址方式	106	7.3.1 总线数据传输过程	147
5.3 指令类型	109	7.3.2 总线数据传输方式	147
5.4 指令系统的分类	113	7.4 常用标准总线简介	149
5.4.1 复杂指令系统 CISC	113	7.4.1 内部总线	149
5.4.2 精简指令系统 RISC	116	7.4.2 外部总线	150
习题 5	118	习题 7	151
第 6 章 中央处理器	120	第 8 章 输入/输出系统	152
6.1 控制器的组成和基本原理	120	8.1 输入/输出系统概述	152
6.1.1 控制器的功能	120	8.1.1 输入/输出系统的组成	152
6.1.2 控制器的基本组成	120	8.1.2 CPU 与 I/O 接口之间的信息	152
6.1.3 控制器的时序系统	122		

8.2 I/O 端口的编址方式及数据 传送方式	153	9.5 数/模和模/数转换	198
8.2.1 I/O 端口的编址方式	153	9.5.1 数/模转换器	198
8.2.2 CPU 与外设之间的数据 传送方式	154	9.5.2 模/数转换器	201
8.3 程序直接控制方式	155	习题 9	203
8.3.1 无条件方式	155	第 10 章 外部设备	205
8.3.2 条件查询方式	155	10.1 外部设备概述	205
8.4 中断控制方式	156	10.1.1 外部设备的分类	205
8.4.1 中断概述	156	10.1.2 外部设备的作用	206
8.4.2 中断的优先级及优先级的 判定	158	10.2 输入设备	206
8.4.3 中断响应与中断处理	159	10.2.1 键盘	206
8.4.4 中断嵌套与中断屏蔽	160	10.2.2 鼠标	207
8.4.5 中断接口的基本结构	161	10.2.3 触摸屏	207
8.5 DMA 方式	162	10.2.4 读卡器	209
8.5.1 DMA 的特点	162	10.2.5 扫描仪	209
8.5.2 DMA 的传送方式	162	10.3 输出设备	210
8.5.3 DMA 控制器的基本结构	163	10.3.1 显示器	210
8.5.4 DMA 的数据传送过程	164	10.3.2 打印机	211
8.6 通道控制方式	164	10.4 磁表面存储器	213
8.6.1 通道概述	165	10.4.1 存储原理与记录方式	213
8.6.2 通道的分类	165	10.4.2 硬盘存储器的组成与 分类	215
8.6.3 通道结构的发展	166	10.4.3 磁表面存储器的技术指标	218
习题 8	167	10.5 光盘存储器	219
第 9 章 微型计算机原理及 接口技术	168	10.5.1 光盘的分类及特点	219
9.1 16 位及 32 位微处理器	168	10.5.2 光盘存储器的主要性能 指标	220
9.1.1 16 位微处理器 8086	168	10.5.3 CD-ROM 系统	221
9.1.2 32 位微处理器 Pentium	174	习题 10	223
9.2 8086 的中断	177	第 11 章 计算机系统结构	224
9.2.1 8086 的中断概述	177	11.1 计算机系统结构的基本概念	224
9.2.2 中断控制器 8259A	179	11.1.1 计算机系统结构、组成与 实现	224
9.3 串/并行接口	185	11.1.2 提高计算机系统性能的 原则和手段	225
9.3.1 串行通信和并行通信	185	11.1.3 系统结构中的并行性	225
9.3.2 可编程并行接口 8255A	186	11.2 流水与指令级并行处理器	226
9.3.3 可编程串行接口 8251A	189	11.2.1 重叠方式与先行控制	226
9.4 计数器/定时器接口	193	11.2.2 流水方式	227
9.4.1 计数器/定时器概述	193	11.2.3 指令级并行处理器	231
9.4.2 可编程计数器/ 定时器 8253	194		

11.3 向量处理器与阵列处理器	233	11.4.4 多处理器 Cache 的 一致性	242
11.3.1 向量处理器	234	11.4.5 多处理器的操作系统	243
11.3.2 阵列处理器	236	11.5 其他计算机结构	245
11.4 多处理器系统	239	习题 11	247
11.4.1 多处理器的特点	239	参考文献	248
11.4.2 多处理器的硬件结构	240		
11.4.3 多处理器的互连形式	241		

计算机系统概述

随着器件技术的更新换代, 计算机得到了飞速的发展, 应用领域不断扩大。本章首先回顾计算机的发展历程, 对计算机系统的组成进行概述, 并简述计算机的工作原理, 最后介绍计算机的主要性能指标。

1.1 计算机的发展历程

电子计算机的发展, 如果从第一台计算机的问世算起, 到现在已 60 多年, 在人类科技史上还没有一门学科可以与电子计算机的发展速度相提并论。

20 世纪 40 年代, 无线电技术和无线电工业的发展为电子计算机的研制提供了物质基础。1943 ~ 1946 年, 美国宾夕法尼亚大学莫齐利 (Mauchly) 和他的学生艾克特 (Eckert) 研制的电子数字积分器和计算机 ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer) 是世界上第一台电子计算机。但由于 ENIAC 没有采用二进制操作和存储程序控制, 不具备现代电子计算机的主要特征。

在 ENIAC 计算机研制的同时, 冯·诺依曼 (Von Neumann) 与莫尔小组合作研制了 EDVAC 计算机, 它采用了存储程序方案, 其后开发的计算机都采用了这种方式, 称为冯·诺依曼计算机。一般认为冯·诺依曼计算机具有如下基本特点:

- 1) 计算机由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备五部分组成。
- 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) 数据以二进制码表示。
- 4) 指令由操作码和地址码组成。
- 5) 指令在存储器中按执行顺序存放, 由指令计数器 (即程序计数器 PC) 指明要执行的指令所在的单元地址, 一般按顺序递增, 但可根据运算结果或外界条件而改变。
- 6) 机器以运算器为中心, 输入/输出设备与存储器之间的数据传送都通过运算器来实现。

60 多年来, 随着技术的发展和 new 应用领域的开拓, 人们对冯·诺依曼机作了很多次改革, 使计算机系统结构有了很大的新发展, 如计算机不再以运算器为中心, 而是以存储器为中心; 某些机器中程序与数据分开存放在不同的存储器中等, 虽然有所突破, 但本质上仍是遵循存储程序工作原理, 仍称为冯·诺依曼计算机。

自从第一台电子计算机 ENIAC 诞生后, 人类社会进入了一个崭新的电子计算和信息化时代。计算机硬件早期的发展受电子开关器件的影响极大, 为此, 传统上人们以元器件的更新作为计算机技术进步和划时代的主要标志。根据计算机所采用的物理器件的发展, 一般把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在时间上有重叠。

第一代: 电子管计算机时代 (从 1946 年第一台计算机研制成功到 20 世纪 50 年代后期), 其主要特点是采用电子管作为基本器件。在这一时期, 主要为军事与国防尖端技术的需要而研制计算机, 并进行有关的研究工作, 为计算机技术的发展奠定了基础, 其研究成果扩展到民用, 又转为工业产品, 形成了计算机工业。20 世纪 50 年代中期, 美国 IBM 公司在计算机行业中崛起,

1954 年 12 月推出的 IBM650(小型机)是第一代计算机中行銷最广的机器,销售量超过 1000 台。1958 年 11 月问世的 IBM709(大型机)是 IBM 公司生产的性能最高的最后一台电子管计算机产品。

第二代:晶体管计算机时代(从 20 世纪 50 年代中期到 20 世纪 60 年代后期),这个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,而且价格不断下降。后来又采用了磁芯存储器,使速度得到进一步提高。这不仅使计算机在军事与尖端技术上的应用进一步扩大,而且在气象、工程设计、数据处理以及其他科学研究等领域内得到应用。在这一时期开始重视计算机产品的继承性,形成了适应一定应用范围的计算机“族”,这是系列化思想的萌芽,从而缩短了新机器的研制周期,降低了生产成本,实现了程序兼容,方便了新机器的使用。

1960 年控制数据公司(CDC)研制高速大型计算机系统 CDC6600,于 1964 年完成,取得了巨大成功,深受美国和西欧各研究机构和大学的欢迎,使该公司在研究和生产科学计算高速大型机方面处于领先地位。1969 年 1 月,水平更高的超大型机 CDC7600 研制成功,平均速度达到每秒千万次浮点运算,成为 20 世纪 60 年代末、70 年代初性能最高的计算机。

这一代计算机除了逻辑元件采用晶体管以外,其内存采用磁芯存储器,外存采用磁鼓与磁带存储器,实现了浮点运算,并在系统结构方面提出了变址、中断、I/O 处理器等新概念。这时计算机软件也得到了发展,出现了多种高级语言及其编译程序。

第三代:集成电路计算机时代(从 20 世纪 60 年代中期到 20 世纪 70 年代前期),这个时期的计算机采用集成电路作为基本器件,因此功耗、体积、价格等进一步下降,而速度及可靠性相应提高,这就促使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。在 1964 年发布 IBM360 系统时就有大、中、小型等 6 个计算机型号,平均运算速度从每秒几千次到一百万次,它的主要特点是通用化、系列化、标准化。

通用化:指令系统丰富,兼顾科学计算、数据处理、实时控制 3 个方面。

系列化:IBM360 各档机器采用相同的系统结构,即在指令系统、数据格式、字符编码、中断系统、控制方式、输入/输出操作方式等方面保持统一,从而保证了程序兼容,当用户更新机器时原来在低档机上编写的程序可以不作修改就能在高档机中使用。

标准化:采用标准的输入/输出接口,因而各个机型的外部设备都是通用的。采用积木式结构设计,除了各个型号的 CPU 独立设计外,存储器、外部设备都采用标准部件组装。

第四代:大规模集成电路计算机时代(20 世纪 70 年代后期开始),20 世纪 70 年代初,半导体存储器问世,迅速取代了磁芯存储器,并不断向大容量、高速度发展。其后,大规模(LSI)和超大规模(VLSI)集成电路成为计算机的主要器件,其集成度从 20 世纪 70 年代初的几千个晶体管/片(如 Intel 4004 为 2000 个晶体管)发展到 20 世纪末的千万个晶体管/片。半导体集成电路的集成度越来越高,速度也越来越快,其发展遵循摩尔定律:由于硅技术的不断改进,每 18 个月,集成度将翻一番,速度将提高一倍,而其价格将降低一半。从 1971 年内含 2300 个晶体管的 Intel 4004 芯片问世,到 1999 年包含了 750 万个晶体管的 Pentium II 处理器出现,都证实了摩尔定律的正确性。后来转述为微处理器的工作速度,在一定成本下,大体上也是每 18 个月翻一番。

第四代计算机的另一个重要特点是计算机网络的发展与广泛应用。由于计算机技术及通信技术的高速发展与密切结合,掀起了网络热潮,大量的计算机连入不同规模的网络中,然后通过 Internet 与世界各地的计算机相连,使计算机的应用方式也由个人计算方式向网络化方向发展。

60 多年来,人们使用计算机的方式发生了巨大变化。早先是多人共享一台计算机(分时计算方式),然后是一人使用一台计算机(个人计算方式),进而发展到目前多人使用多台计算机的网络计算方式。其进一步的发展趋势是人们将进入普适计算(Pervasive Computing)方式。

计算机技术的另一个重要发展方向是计算机的智能化,其目标是发展以知识为基础的智能化处理能力,用以模拟或部分替代人的智能活动,并提供智能化的人机交互接口,使计算机具有自然的人机通信能力。普适化、智能化、嵌入式和网络化将是未来计算机发展的主要方向。

1.2 计算机的组成与结构

计算机系统由硬件系统和软件系统两大部分组成。

1.2.1 计算机硬件

1. 电子计算机的硬件组成

电子计算机能够接收信息,根据事先编好的程序对信息进行处理,并给出处理结果。组成计算机的基本部件有运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备。

计算机最基本的组成框架如图 1-1 所示。运算器与控制器合称为中央处理器 (Central Processing Unit, CPU),它是计算机硬件系统的核心。在由超大规模集成电路构成的微型计算机中,CPU 被集成在一块芯片上,称为微处理器。中央处理器和主存储器合称为主机。辅助存储器和输入/输出设备统称为外部设备或外围设备。各部件间流动着信息流以及由控制器向各部件发出的控制信号。

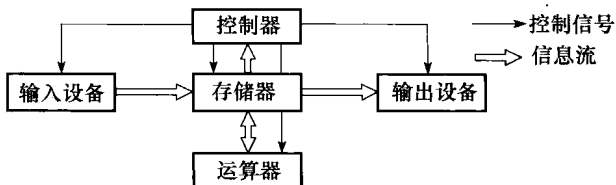


图 1-1 计算机最基本的组成框架

计算机的主机中流动着两类信息流:指令流和数据流。由主存储器流向控制器的信息流称为指令流,由主存储器流向运算器或由运算器流向主存储器的信息流称为数据流。控制器依据指令发出控制信号控制整机工作来处理信息。

计算机的主机中流动着两类信息流:指令流和数据流。由主存储器流向控制器的信息流称为指令流,由主存储器流向运算器或由运算器流向主存储器的信息流称为数据流。控制器依据指令发出控制信号控制整机工作来处理信息。

(1) 运算器

运算器 (Arithmetic Unit) 是一种执行部件,它的主要任务是完成信息的加工处理。它主要由算术逻辑单元 (Arithmetic Logical Unit, ALU) 和一系列寄存器组成。

ALU 是完成算术逻辑运算的部件,它的核心是加法器。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;逻辑运算一般指非算术性质的运算,如比较、移位、与、或、非和异或等。在计算机中,一些复杂的运算往往被分解成一系列算术运算和逻辑运算。

运算器中的寄存器用于存放参加运算的操作数、运算的中间结果和最终结果。寄存器的存取速度比存储器的存取速度要快得多。

(2) 控制器

控制器 (Control Unit) 是计算机的控制和指挥中心,负责对指令进行译码,产生一系列控制信号,指挥和协调计算机各部件工作。

程序是由一系列有序指令构成的,指令是指示计算机执行某种操作的命令。指令由操作码和地址码两部分组成,操作码指示操作的性质,地址码指示操作的对象。控制器的实质就是解释程序,它从主存储器中逐条地取出指令,分析指令的操作码,并依据运算器、存储器及输入/输出设备当前运行的状态,按时间顺序向它们发出相应的控制信号,使各个部件一步一步地执行程序所规定的任务。控制器在整个计算机中起到控制和指挥中心的作用,即向各个部件指明应在什么时间执行什么操作。

(3) 存储器

存储器 (Memory 或 Storage) 是用来存放程序和数据的部件,它是计算机中各种信息的存储和交流中心。程序是计算机操作的依据,数据是计算机操作的对象。存储器包括主存储器 (内存储器,简称主存或内存) 和辅助存储器 (外存储器,简称辅存或外存) 两类。当前在计算机上运行的程序和数据存放在主存储器中;辅助存储器作为主存储器的后援,存放暂不运行的程

序和数据。主存储器的速度比 CPU 慢，因此，在主存储器和 CPU 之间通常加入一级小容量的高速缓冲存储器（Cache）。在现代计算机系统中，规模较大的存储器通常组织成高速缓冲存储器、主存储器和辅助存储器三级存储系统。CPU 能直接访问主存储器和高速缓冲存储器；高速缓冲存储器解决了 CPU 与主存储器之间速度不匹配的矛盾；辅助存储器弥补了主存容量的不足，扩大了用户的编程空间。

主存储器由若干个存储单元组成，每个单元存放若干位二进制信息。为了区分不同的存储单元，通常把全部单元进行统一编号，此编号称为存储单元的地址，它用二进制编码表示。

不同的存储单元有不同的地址，单元与单元地址是一一对应的。存入信息至存储单元或从存储单元取出信息，称为访问存储器，即对存储器进行写入或读出操作。通常，读出时，被读出的存储单元的内容不变；写入时，被写入的存储单元中的原有内容被破坏而以新写入的内容替代它。

(4) 输入设备

输入设备（Input Equipment）是用户给主机提供信息的装置。该装置一般具有信息转换和数据传送功能。如对于用户提供的图像、声音等原始信息，输入设备具有将它们转换为计算机所能识别的二进制代码并传送给计算机的能力。

常用的输入设备有键盘、声音输入识别器、鼠标器、轨迹球、游戏棒、扫描仪和光学字符阅读器等。

(5) 输出设备

输出设备（Output Equipment）是接收计算机处理结果的装置。该装置能将二进制代码转换为用户所能识别的信息形式。常用的输出设备有显示器、打印机、绘图仪和语音输出装置等。

辅助存储器用于存储程序和数据，从功能上看，它是作为存储系统的一部分。辅助存储器与主机的连接方式和信息交换方式如同输入/输出（I/O）设备，故也可视为输入/输出设备。计算机应用系统中连接的一些专用装置，也广义地归类于输入/输出设备，如数据通信设备和终端、自动控制与检测系统中使用的与计算机相关的仪器、装置等。

输入/输出设备大多是电子和机电混合的装置，与运算器、存储器等电子部件相比，速度较慢。输入/输出设备与主机连接需要通过接口电路。

2. 计算机的硬件典型结构

一种典型的计算机硬件系统结构是单总线结构——用系统总线将各部件连接起来，如图 1-2 所示。系统总线是一组传递信息的公共导线，用来连接多个部件，并为之提供信息交换通路。总线的特点是具有共享性和分时性。所谓共享性是指连接在总线上的部件都可通过总线传递信息。所谓分时性是指在某一时刻只允许一个部件传送数据到总线上。

根据传送信息的内容与作用不同，系统总线分为地址总线（AB）、数据总线（DB）、控制总线（CB）三类。地址总线用于传送地址信息，地址线的根数决定了寻址存储器的范围；数据总线用来传送数据信息，数据线的根数决定了一次能够传送数据的位数；控制总线用来传送控制信号、时序信号和状态信息等。

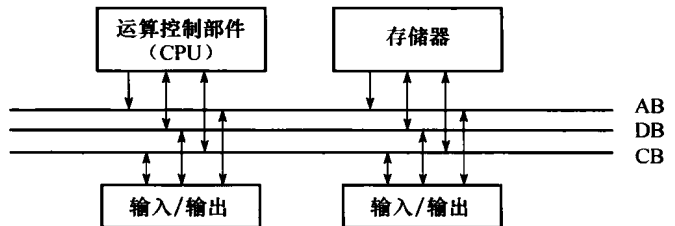


图 1-2 以单总线连接的计算机框图

CPU 发出的控制信号经控制总线送到存储器和 I/O 设备，控制各部件完成指令的操作。与此同时，CPU 经 AB 向存储器或 I/O 设备发送地址，使得计算机各部件中的数据能根据需要相互传送。存储器和 I/O 设备有时也向 CPU 送回一些信号，如准备好信号 READY，CPU 可根据这些信号来调整本身发出的控制信号。I/O 设备也可以直接向存储器提出读/写要求，由设备接口控制

器控制数据传送。部件通过三态门挂接在总线上。三态门是具有逻辑“0”、逻辑“1”和浮空三种逻辑状态的门电路，浮空状态就是三态门输出呈现开路的高阻状态。当三态门控制信号无效时，输出就呈现高阻状态。通过对三态门控制信号的控制，就可以控制传输线上的信号传送方向以及选择不同设备间的信息传送。

1.2.2 计算机软件

1. 软件的组成与分类

软件是指在硬件上运行的程序和相关的文档及数据，包括计算机本身运行所需的系统软件 and 用户完成特定任务所需的应用软件等。

系统软件主要包括：1) 操作系统；2) 语言处理程序，如汇编程序、解释程序、编译程序等；3) 服务性程序，它是帮助用户使用与维护计算机、提供服务性手段、支持其他软件开发而编制的一类程序，如输入与装配程序、编辑工具、调试工具、诊断程序等；4) 数据库管理系统，它是对计算机中所存放的大量数据进行组织、管理、查询并提供一定处理功能的大型系统软件。

应用软件主要包括：1) 文字处理软件；2) 电子表格处理软件；3) 图形、图像软件；4) 网络通信软件；5) 多媒体软件；6) 统计软件；7) 其他专用软件。

2. 计算机语言

计算机的处理对象是信息，处理结果也是信息。计算机信息处理的一般过程是使用者针对待解决的问题编制程序并存入计算机内，然后利用存储程序指挥、控制计算机自动进行各种基本操作，直至获得预期的处理结果。计算机自动工作的基础在于存储程序方式。编制程序采用的语言有机器语言、汇编语言和高级语言。

(1) 机器语言

计算机硬件能够直接识别和执行的是以二进制代码表示的机器指令。在早期的计算机中，人们用机器语言来编写程序，程序由一系列机器指令构成。用机器语言编写程序时，必须编排好存放每条指令的地址，以区分执行程序的先后次序及各指令之间的跳转关系。

机器语言是面向机器的，每一种机器语言编写的程序只适用于某种特定类型的计算机。由于计算机能直接识别和执行机器语言程序，故机器语言程序又称为目标程序。用机器语言编写程序既繁琐又容易出错，同时还要求程序编写者深入地理解计算机硬件结构。

(2) 汇编语言

汇编语言是一种与计算机机器语言相当接近的符号语言，它采用符号或助记符来表示机器指令的操作码，采用符号地址指示程序存放在存储器中的位置及跳转关系，并增加一些控制程序执行和便于表示数据及其存放的命令，以方便人们编写程序。汇编语言指令与机器语言指令是一一对应的，它与机器语言一样，也是一种面向机器的语言。

用汇编语言编写的程序称为汇编语言源程序。计算机不能直接识别和执行汇编语言源程序，而是需要通过称为汇编程序的一种语言处理程序加以处理，得到机器指令形式的目标程序，计算机才能识别和执行。将汇编语言源程序处理为机器语言的目标程序的过程，称为“汇编”；反之，将机器语言的目标程序转换为汇编语言源程序的过程，称为“反汇编”。也可将一种计算机的汇编语言源程序汇编成另一种计算机的机器语言的目标程序，这个过程称为“交叉汇编”。

汇编语言与硬件关系密切，用它编写的程序紧凑，占主存资源少，速度快，适合于编写直接访问系统硬件的系统程序或设备控制软件。

(3) 高级语言

高级语言克服了机器语言和汇编语言依赖于具体计算机类型的缺陷，使计算机语言成为描述各种问题求解过程的算法语言，并从过程化语言发展为现代广泛应用的面向对象的高级语言。用某种高级语言编写的程序称为高级语言源程序，如 Pascal 语言源程序、C++ 语言源程序等。

计算机不能直接执行高级语言源程序，而是需要通过语言处理程序进行转换，将源程序转换为可执行的机器指令代码，计算机才能执行。有两类语言处理程序：编译程序和解释程序。编

译程序是针对某种程序设计语言事先编制的。使用时计算机执行编译程序，将高级语言源程序完整地处理为机器语言的目标程序，然后机器执行目标程序，而不再需要源程序。解释程序也是针对某种程序设计语言事先编制的。使用时计算机执行解释程序，将源程序分段地转换为相同功能的指令序列，并执行这段等价的指令序列，即边解释边执行。

高级语言不涉及机器的硬件结构，表达方式比较接近自然语言，描述问题的能力，通用性好，编写程序容易，适合于编写与硬件没有直接关系的应用软件。

在现代程序设计中，采用在高级语言中提供与汇编语言之间的调用接口的方法，很好地利用了高级语言和汇编语言各自的优点，摒弃了两者的不足。用汇编语言编写的程序作为高级语言的一个外部过程或函数，汇编源程序和高级语言源程序分别通过汇编、编译成目标文件后，利用连接程序把它们连接成可执行文件即可执行。

1.2.3 计算机系统的层次结构

计算机系统以硬件为基础，通过配置各种软件，形成一个有机组合的系统。采用一种层次结构的观点分析计算机，便于我们选择某一层次分析计算机的组成、性能和工作原理。

计算机系统按功能划分的层次结构如图 1-3 所示。根据设计原理的不同，计算机可以分为硬布线计算机和微程序计算机两类。硬布线计算机的实际机器是由硬布线逻辑组成的机器语言机器，即一个不可再划分的机器语言层 M_0 。微程序计算机的实际机器可细分为 $M_0 \sim M_2$ 三个实际机器层， M_0 是由电子线路组成的机器实体， M_1 是支持和执行微指令的微程序层， M_2 是机器语言层，这三个层次构成了最基本的微程序计算机。

$M_3 \sim M_6$ 为虚拟机器层。一台不提供任何软件支持的计算机是一台实际机器或称为机器语言机器，提供了软件支持的机器称为虚拟机器。为使用户能够高效、方便地使用计算机，通常面向用户的是一台虚拟机器。

M_3 是操作系统层。操作系统是计算机软件中的核心程序，用来管理和控制计算机系统内的硬件和软件资源，并为用户和其他软件提供服务。操作系统控制应用程序执行并作为计算机用户与计算机硬件间的接口。操作系统与计算机硬件有着固有的联系：在设计操作系统时，必须充分考虑硬件的特性；而在设计硬件时，也必须认识到硬件必须为操作系统提供足够的支持。

操作系统的主要功能有：1) 处理器管理功能，即为一个或多个用户合理、有效地分配 CPU；2) 存储管理功能，即合理组织和分配存储空间（包括主存和辅存）；3) 数据管理功能，即合理组织信息在辅助存储器上的存储和检索；4) 设备管理功能，即合理组织和使用 I/O 设备；5) 作业管理功能，即合理组织和调度作业的运行；6) 系统的安全和保护功能，即为保护系统正常运行，减少和避免由各种操作错误及设备故障引起的问题所采取的防范措施。计算机在开机后，固化在 ROM BIOS 中的引导程序将操作系统内核装入主存，然后操作系统运行它的第一个初始化进程，初始化整个系统，随后准备处理用户的各种请求和系统中的事件。现代操作系统是事件（中断、用户请求等）驱动的，如果没有进程执行、用户响应和 I/O 设备请求服务，操作系统将静止地等待。当中断发生时，硬件将 CPU 的控制权交给操作系统进行中断处理，完成后又静止地等待下一个事件。

M_4 是汇编语言或中间语言层。面向用户的是提供了汇编支持的虚拟机器，用户可以使用汇编语言编写程序。

M_5 是高级语言层。面向用户的是提供了编译或解释支持的虚拟机器，用户可以使用高级语言编写程序。

M_6 是应用语言层。这一层是为使计算机满足某种用途而专门设计的，是各种面向问题的应

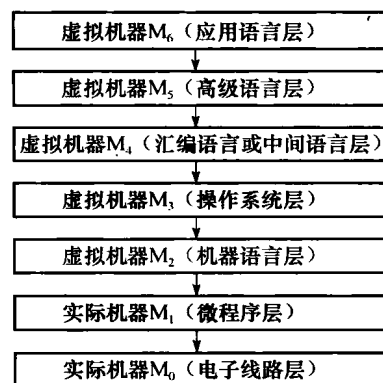


图 1-3 计算机系统的层次结构

用语言。可以设计专门用于人工智能、教育、行政管理和计算机设计等方面的虚拟机器，这些虚拟机器也是当代计算机应用领域的重要研究课题。

计算机系统的层次结构的概念是在计算机发展过程中逐渐形成的，分层方式不是唯一的。在不同的层次上，计算机的功能特性可能不同，存在“透明性”现象，即一种原本存在的事物或属性，从某种角度看似乎不存在。另外，不同计算机系统之间的层次结构的划分与实现方法是有差别的，一般来说，相邻层的语法结构的差别不大，这有利于编译或解释，但最终必须处理为能在实际机器上直接执行的机器语言程序。在以上所述的分层方式中，计算机系统的软、硬件界面定在 M_2 与 M_3 之间。但是，随着大规模集成电路技术的发展，计算机软、硬件界面已经变得模糊。任何操作都可以用软件完成，也可以用硬件完成；任何指令的执行都可以用硬件完成，也可以用软件完成。究竟采用硬件方案还是软件方案，取决于器件的价格、速度、可靠性、存储容量等多种因素，其目标是使计算机的性能最高，这是计算机系统结构研究的范畴。

1.3 计算机的基本工作原理

随着计算机技术的发展，计算机系统结构有了很大的发展，人们对冯·诺依曼结构作了很多改革，但现代计算机基本上仍遵循存储程序工作原理。采用存储程序方式，就是事先编制程序，并将程序（包含指令和数据）存入主存储器中，计算机在运行程序时就能自动、连续地从主存储器中依次取出指令并执行。

在存储程序工作方式下，为了控制指令序列的执行顺序，设置一个程序计数器（Program Counter, PC）来存放当前指令所在的存储单元的地址。如果程序是顺序执行的，那么每取出一条指令后 PC 内容自动增 1，指示下一条指令该从何处取得。如果程序实施转移，则将转移目标地址送入 PC，以便按新地址读取后继指令。PC 就像一个指针，一直指示着程序的执行进程。

计算机的工作过程是执行程序的过程。程序是为求解特定问题而设计的指令序列，所以计算机的工作过程就是按照给定次序执行一系列指令的过程。执行一条指令一般可以分为两个阶段进行：取指令和执行指令，而没有再细分对指令译码和准备操作数的指令分析阶段。所以计算机的工作过程也就是反复取指令（取指）和执行指令（执指）的过程，如图 1-4 所示。

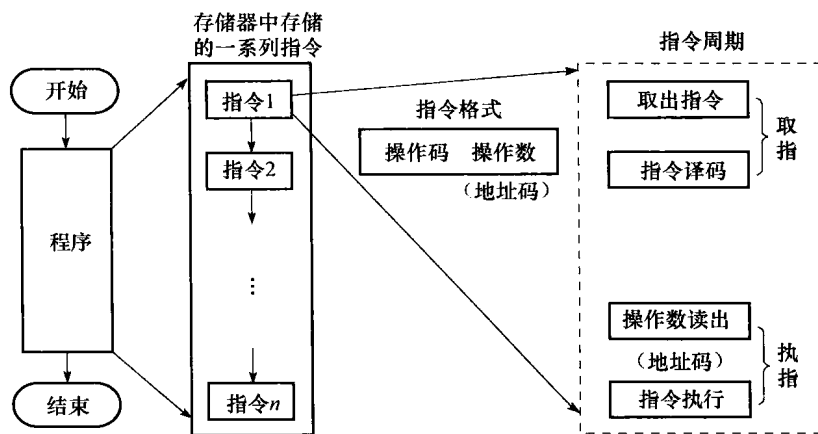


图 1-4 程序执行过程示意图

例如在某计算机上运算 $f = a + b$ ，首先程序员需要依据解题步骤编写程序。解题步骤如下：

step1：取 a 数。

step2：取 b 数。

step3：执行 $a + b$ ，结果送 f 。

step4：结束。