



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



21世纪大学本科
计算机专业系列教材

袁春风 编著

计算机组成与系统结构

<http://www.tup.com.cn>

- 根据教育部“高等学校计算机科学与技术专业规范”组织编写
- 与美国 ACM 和 IEEE CS *Computing Curricula* 最新进展同步
- 教育部—微软精品课程教材
- 远程教育国家精品课程教材

清华大学出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

21世纪大学本科计算机专业系列教材

计算机组成与系统结构

袁春风 编著
黄宜华 审校

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书主要介绍计算机组成与系统结构涉及的相关概念、理论和技术内容,主要包括指令集体系结构、数据的表示和存储,以及实现指令集体系结构的计算机各部件的内部工作原理、组成结构及其相互连接关系。本书共分9章:第1章对计算机系统及其性能评价进行概述性介绍;第2~3章主要介绍数据的机器级表示、运算,以及运算部件的结构与设计;第4章主要介绍包含主存、cache和虚拟存储器在内的存储器分层体系结构;第5~7章介绍指令系统以及各种CPU设计技术;第8~9章介绍总线互连以及输入输出系统。

本书内容详尽、反映现实、概念清楚、通俗易懂、实例丰富,并提供大量典型习题以供读者练习。本书可以作为计算机专业本科或大专院校学生计算机组成原理与系统结构课程的教材,也可以作为有关专业研究生或计算机技术人员的参考书。

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

计算机组成与系统结构/袁春风编著. --北京:清华大学出版社,2010.4

(21世纪大学本科计算机专业系列教材)

ISBN 978-7-302-21905-7

I. ①计… II. ①袁… III. ①计算机组织—高等学校—教材 ②计算机体系结构—高等学校—教材 IV. ①TP302.1 ②TP303

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第013214号

责任编辑:张瑞庆 薛 阳

责任校对:焦丽丽

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦A座

<http://www.tup.com.cn>

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

印 装 者:北京市清华园胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260

印 张:27.75

字 数:676千字

版 次:2010年4月第1版

印 次:2010年4月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:39.00元

产品编号:034771-01

21世纪大学本科计算机专业系列教材编委会

名誉主任：陈火旺

主任：李晓明

副主任：钱德沛 焦金生

委员：（按姓氏笔画为序）

马殿富	王志英	王晓东	宁洪	刘辰
孙茂松	李大友	李仲麟	吴朝晖	何炎祥
宋方敏	张大方	张长海	周兴社	侯文永
袁开榜	钱乐秋	黄国兴	蒋宗礼	曾明
廖明宏	樊孝忠			

秘书：张瑞庆

本书审校：黄宜华

计算机组成(computer organization)是指计算机主要功能部件的组成结构、逻辑设计及功能部件间的相互连接关系。计算机系统结构(computer architecture)的经典定义是指程序设计者(主要指低级语言程序员或编译程序设计者)所看到的计算机系统的属性,即计算机的功能特性和概念性结构,也称指令集体系结构(Instruction Set Architecture, ISA),包括:数据类型及数据格式,指令格式,寻址方式和可访问空间大小,程序可访问的寄存器个数、位数和编号,控制寄存器的定义,I/O空间的编址方式,中断结构,机器工作状态的定义和切换,输入输出数据传送方式,存储保护方式等。

本书主要介绍单处理器计算机系统的组成与系统结构涉及的相关内容。在计算机系统层次结构中,这些内容位于软件和硬件的结合处,不仅涉及计算机硬件设计和指令系统设计,还涉及操作系统、编译程序和程序设计等部分软件设计技术,是整个计算机系统中最核心的部分。

1. 本书的写作思路和内容组织

计算机组成与系统结构这两部分涉及的内容相互融合,密不可分。无论是国内还是国外,很多高校都逐渐把计算机组成原理和系统结构课程的内容有机结合起来;甚至国外一些经典教材还把密切相关的软件设计的内容也融合到一起。这种方式可以加深读者对计算机软硬件系统的整体化理解,并有效地增强对学生的计算机系统设计能力的培养。

本书在总结和借鉴国外著名高校使用的教材、教案、教学理念和教学方法的基础上,力图以“培养学生现代计算机系统设计能力”为目标,贯彻“从程序设计视角出发、强调软硬件关联与协同、以CPU设计为核心”的组织思路,试图改变国内同类教材通常的就硬件讲硬件、软硬件分离的传统内容组织方式,以系统化观点全面地介绍计算机组成和系统结构的相关知识和技术。

为了体现以上思路和目标,本书在以下几个方面进行了重点考虑和内容组织:

(1) 首先基于“高级语言程序→汇编语言程序→机器指令序列→控制信号”的路线,展现程序从编程设计、转换翻译到最终在CPU上运行的整个过程;在此基础上,用计算机系统层次化的观点阐述计算机组成与系统结构课程在整个计算机系统的位置、内容和作用,从而为清晰了解本课程的内容和作用、为全面建立计算机软硬件系统的整体概念打下基础。

(2) 将指令执行过程和异常、中断、存储访问、I/O访问等重要概念和技术结合起来进行介绍,力求清晰说明CPU执行指令过程中硬件与操作系统相互切换和协同工作的处理过程,使读者深刻理解软硬件系统之间的关系与协同工作过程。

(3) 在讲述与程序设计有密切关系的体系结构内容(如数据表示、信息存放、操作数寻址、过程调用、程序访问局部性等)时,试图通过对硬件设计与程序设计的关系的说明,使读者建立“从程序员视角理解计算机硬件系统设计,从硬件设计的视角理解程序设计与执行”的思想,力图在提高读者硬件设计能力的同时,也增强其进行高效的和系统化的程序设计的能力。

(4) 在国内“计算机组成原理”教材传统内容基础上增加指令流水线设计的详细内容,依照“最简单的 IAS 计算机 CPU→总线式 CPU→单周期 CPU→多周期 CPU→基本流水线 CPU→动态超标量超流水线 CPU”的次序,循序渐进地介绍 CPU 设计技术及其发展过程,以 MIPS 处理器和 Pentium 4 处理器为蓝本,力图使读者全面深入地掌握现代计算机的 CPU 设计技术。

(5) 结合指令流水线技术介绍基于流水线的编译优化技术,使读者对编译技术与指令流水线实现技术之间的密切关系有一定的认识和理解。

2. 本书各章节的主要内容

本书共有 9 章,各章主要内容如下:

第 1 章(计算机系统概述)主要介绍冯·诺依曼结构的特点、计算机硬件的基本组成、计算机软件设计和执行过程、计算机系统层次结构,以及系统性能评价方法;

第 2 章(数据的机器级表示)主要介绍无符号数和有符号整数的表示、IEEE 754 浮点标准、西文字符和汉字的编码表示、大端/小端存放顺序及对齐方式,以及常用检/纠错码表示与使用方法等;

第 3 章(运算方法和运算部件)主要介绍各类定点数和浮点数的运算方法和相应的运算部件,以及核心运算部件 ALU 的功能和设计实现等;

第 4 章(存储器分层体系结构)主要介绍存储器分层结构的概念、半导体存储器的组织、多模块存储器、cache 的基本原理、cache 和主存间的映射关系及替换算法、虚拟存储器的基本概念、页表结构、缺页异常、TLB 的实现技术;

第 5 章(指令系统)主要介绍高级语言与低级语言的关系、指令格式、操作数类型、寻址方式、操作类型、硬件对过程的支持、用户程序在虚存空间的配置和划分等技术;

第 6 章(中央处理器)主要介绍 CPU 的基本功能和内部结构、指令执行过程、数据通路的基本组成和定时、单周期和多周期数据通路、硬连线路和微程序控制器、异常和中断等概念和技术;

第 7 章(指令流水线)主要介绍指令流水线的基本原理、流水段寄存器的概念、流水线数据通路的设计、流水线的控制信号、结构冒险及其处理、数据冒险及其处理、转发技术、控制冒险及其处理、分支预测原理、超标量和动态流水线的概念和技术;

第 8 章(系统总线)主要介绍总线基本概念、总线裁决、总线定时、总线标准及其现代计算机内部的总线互连结构;

第 9 章(输入输出组织)主要介绍常用输入输出外设和磁盘存储器的工作原理、I/O 接口的结构、I/O 端口编址方式、程序查询 I/O 方式、中断 I/O 方式和 DMA 方式等。

3. 关于本书使用的一些建议

本书可作为“计算机组成原理”课程的教材,也可作为“计算机组成原理实验”课程和“计算机系统结构”课程的教学参考书,特别是对于不专门开设“计算机系统结构”课程的院校,

使用本书作为“计算机组成与系统结构”课程的教材是比较合适的。

本书力求用历史的、系统的观点全面深入地介绍计算机组成与系统结构所涉及的重要概念和知识体系,并力求准确、清晰地阐述相关内容之间的关联,因而,内容较多、篇幅较大,为此,本书对课堂教学内容和课后阅读内容进行了区分,在目录和正文的章节标题处加*标注表示可作为课后阅读的内容。本书作为教材使用时,可以根据不同的教学目标和课时限制,有选择地进行内容裁剪和选择。

对于本书的使用,具体建议如下:

(1) 课堂教学应以主干内容为主,力求完整给出知识框架体系,并着重讲清楚相关概念之间的联系。

(2) 标注为*的内容是可以跳过而不影响阅读连贯性的部分,主要有以下三类:简单易懂的基础性内容、具体实现方面的细节内容和在技术层面上更加深入的内容。这些内容对深入理解课程的整体核心内容是非常有帮助的。因此,在课时允许的情况下,可以选择其中的一部分进行课堂讲解;在课时不允许的情况下,也尽量安排学生进行课后阅读。

(3) 书中每个重要的知识点和概念后面都有一些例子,可选择部分重要的、难懂的例子在课堂上讲解,而大部分可留给学生自学。

(4) 习题中列出的概念术语基本涵盖了相应章节的主要概念,可以让学生对照检查是否全部清楚其含义;习题中列出的简答题是相应章节重要的基本问题,可以通过对照检查以判断学生对相应章节内容的掌握程度;对于综合运用题,如果与程序设计相关,则可用编程方式来求解或验证,这样做,对学生深刻理解课程内容有帮助。

(5) 本书在 CPU 设计方面给出了比较具体的实现方案,相关内容可以作为基于 FPGA 和硬件描述语言进行 CPU 设计实验的参考资料。

(6) 书后给出了部分国际一流大学的相关课程网站网址,可以到这些网站找到课堂讲义、习题参考答案,以及更多的相关教辅资料。

4. 致谢

在本书的编写过程中,得到了张福炎教授的悉心指导;黄宜华教授从书稿的篇章结构到内容各方面都提出了许多宝贵的意见,进行了修改,并对全书内容进行了全面细致的审核和校对;书中有关 CPU 设计的最初图稿和内容组织思路由陈贵海教授提供;此外,武港山教授、俞建新、吴海军、张泽生、蔡晓燕等老师也对本书提出了许多宝贵的意见;杨晓亮、肖韬、翁基伟、刘长辉、宗恒、莫志刚、叶俊杰等研究生对相关章节的内容和习题分别进行了校对和试做,并提出了许多宝贵的意见和修改建议。在此对以上各位老师和研究生一并表示衷心的感谢。

本书是作者在南京大学从事“计算机组成与系统结构”课程教学近 20 年来所积累的讲稿内容的基础上编写而成的,感谢各位同仁和各届学生对讲稿内容所提出的宝贵的反馈和改进意见,使得本教材的内容得以不断地改进和完善。

5. 结束语

本书广泛参考了国内外相关的经典教材和教案,在内容上力求做到取材先进并反映技术发展现状;在内容的组织和描述上力求概念准确、语言通俗易懂、实例深入浅出,并尽量利用图示和实例来解释和说明问题。相信只要读者具有数字逻辑电路和程序设计的一些基本

概念,就能通过使用本书较为全面地理解相关的基础理论、技术和知识体系;理解和掌握现代计算机的指令集体系结构;理解和掌握 ALU、乘法器、存储器、I/O 接口、总线等各种基本部件以及流水线 CPU 的基本工作原理、结构和设计技术。

但是,由于计算机组成与系统结构相关的基础理论和技术在不断发展,新的思想、概念、技术和方法不断涌现,加之作者水平有限,在编写中难免存在不当或遗漏之处,恳请广大读者对本书的不足之处给予指正,以便在后续的版本中予以改进。

为了更好地提供教学支持,并逐步形成一个广泛、方便、有效的课程教学交流空间,我们构建了相应的课程网站。其中包括每个章节的主要内容提要、学习目标和要求、课堂讲义、作业及参考答案、概念术语、常见问题、课后练习、例题分析等,此外还包括课程教学大纲、课程实验内容、虚拟实验、装机实践、课程动画演示和计算机小百科等。我们还将不断更新课程内容,并尽快将课程教学的视频文件放到课程网站上,以供大家参考。

课程网址如下(如果只是浏览课程内容,建议使用后面两个网址,速度较快):

<http://graphics.nju.edu.cn/>(用户名和密码都是 student,可进入讨论区进行交流)。

<http://media.njude.com.cn/course/jsjzcy1/index.htm>。

<http://tres.njude.com.cn/msmk/jsjzcy1/index.htm>。

作者
2010年2月

目 录

CONTENTS

第 1 章 计算机系统概述	1
1.1 计算机的功能和特性	1
1.2 计算机的发展历程	2
* 1.2.1 电子计算机的诞生	2
* 1.2.2 第一代计算机	2
* 1.2.3 第二代计算机	3
* 1.2.4 第三代计算机	4
* 1.2.5 第四代计算机	4
1.3 计算机系统的组成	6
1.3.1 计算机硬件	6
1.3.2 计算机软件	9
1.4 计算机系统的层次化结构	10
1.4.1 最终用户眼中的计算机	10
1.4.2 系统管理员眼中的计算机	10
1.4.3 应用程序员眼中的计算机	11
1.4.4 系统程序员眼中的计算机	11
1.4.5 程序开发与执行过程	11
1.5 本教材的主要内容和组织结构	14
1.6 计算机系统性能评价	16
1.6.1 计算机性能的定义	16
1.6.2 计算机性能测试	16
1.6.3 用指令执行速度进行性能评估	19
1.6.4 用基准程序进行性能评估	20
1.7 本章小结	21
习题 1	22
第 2 章 数据的机器级表示	25
2.1 数制和编码	25
* 2.1.1 信息的二进制编码	25

* 2.1.2	进位计数制	27
2.1.3	定点与浮点表示	31
2.1.4	定点数的编码表示	31
2.2	整数的表示	36
2.2.1	无符号整数的表示	36
2.2.2	带符号整数的表示	37
* 2.2.3	C 语言中的整数类型	37
2.3	实数的表示	38
2.3.1	浮点数的表示格式	38
2.3.2	浮点数的规格化	40
2.3.3	IEEE 754 浮点数标准	41
* 2.3.4	C 语言中的浮点数类型	45
2.4	十进制数的表示	47
* 2.4.1	用 ASCII 码字符表示	47
2.4.2	用 BCD 码表示	48
2.5	非数值数据的编码表示	49
2.5.1	逻辑值	49
2.5.2	西文字符	50
* 2.5.3	汉字字符	51
2.6	数据的宽度和存储	53
2.6.1	数据的宽度和单位	53
2.6.2	数据的存储和排列顺序	55
2.7	数据校验码	58
2.7.1	奇偶校验码	60
2.7.2	海明校验码	60
* 2.7.3	循环冗余校验码	64
2.8	本章小结	67
习题 2	68
第 3 章	运算方法和运算部件	72
3.1	高级语言和机器指令中的运算	72
* 3.1.1	C 程序中涉及的运算	72
* 3.1.2	MIPS 指令中涉及的运算	75
3.2	基本运算部件	77
3.2.1	串行进位加法器	78
* 3.2.2	进位选择加法器	79
3.2.3	并行进位加法器	79
3.2.4	算术逻辑部件	82
3.3	定点数运算	85

3.3.1	补码加减运算	86
* 3.3.2	原码加减运算	88
* 3.3.3	移码加减运算	89
3.3.4	原码乘法运算	90
3.3.5	补码乘法运算	95
* 3.3.6	快速乘法器	99
3.3.7	原码除法运算	101
* 3.3.8	补码除法运算	108
* 3.3.9	阵列除法器	112
3.4	浮点数运算	113
3.4.1	浮点数加减运算	113
* 3.4.2	浮点数乘除运算	117
3.5	运算部件的组成	120
* 3.5.1	定点运算部件	120
* 3.5.2	浮点运算部件	122
3.6	十进制数加减运算	124
3.7	本章小结	125
习题 3	126
第 4 章	存储器分层体系结构	130
4.1	存储器概述	130
4.1.1	存储器的分类	130
4.1.2	主存储器的组成和基本操作	131
4.1.3	存储器的主要性能指标	132
4.1.4	存储器的层次化结构	133
4.2	半导体随机存取存储器	134
4.2.1	基本存储元件	134
4.2.2	静态 RAM 芯片	135
4.2.3	动态 RAM 芯片	138
4.3	半导体只读存储器和 Flash 存储器	141
4.3.1	半导体只读存储器	141
4.3.2	半导体 Flash 存储器	142
4.4	存储器芯片的扩展及其与 CPU 的连接	143
4.4.1	存储器芯片的扩展	143
4.4.2	存储器芯片与 CPU 的连接	144
4.5	并行存储器结构技术	146
4.5.1	双口存储器	146
4.5.2	多模块存储器	147
4.6	高速缓冲存储器	149

4.6.1	程序访问的局部性	149
4.6.2	cache 的基本工作原理	151
4.6.3	cache 行和主存块之间的映射方式	153
4.6.4	cache 中主存块的替换算法	160
4.6.5	cache 的一致性问题的	164
4.6.6	cache 性能评估	165
* 4.6.7	影响 cache 性能的因素	166
* 4.6.8	cache 结构举例	169
4.7	虚拟存储器	170
* 4.7.1	进程与进程的上下文切换	171
* 4.7.2	存储器管理	172
4.7.3	虚拟地址空间	174
4.7.4	虚拟存储器的实现	176
* 4.7.5	存储保护	183
4.8	本章小结	184
	习题 4	186

第 5 章 指令系统 192

5.1	指令格式设计	192
5.1.1	指令地址码的个数	192
5.1.2	指令格式设计原则	193
5.2	指令系统设计	194
5.2.1	基本设计问题	194
5.2.2	操作数类型	195
5.2.3	寻址方式	195
5.2.4	操作类型	199
5.2.5	操作码编码	200
* 5.2.6	条件码的生成与使用	202
5.2.7	指令系统设计风格	203
5.3	指令系统实例	205
* 5.3.1	Pentium 指令系统	205
* 5.3.2	Power PC 指令系统	208
* 5.3.3	MMX 和 SIMD 指令技术	209
5.4	程序的机器级表示	210
* 5.4.1	MIPS 汇编语言和机器语言	210
* 5.4.2	选择结构的机器代码表示	214
* 5.4.3	循环结构的机器代码表示	215
* 5.4.4	过程调用的机器代码表示	216
5.5	本章小结	223

习题 5	225
第 6 章 中央处理器	229
6.1 CPU 概述	229
6.1.1 指令执行过程	229
6.1.2 CPU 的基本功能	230
6.1.3 CPU 的基本组成	231
6.1.4 数据通路的基本结构	232
6.2 单周期处理器设计	240
6.2.1 指令功能的描述	241
6.2.2 数据通路的设计	242
6.2.3 控制逻辑单元的设计	251
6.2.4 时钟周期的确定	258
6.3 多周期处理器设计	259
* 6.3.1 信号竞争问题	259
* 6.3.2 指令执行状态分析	260
* 6.3.3 硬连线路控制器设计	263
6.4 微程序控制器设计	265
* 6.4.1 Wilkes 微程序控制器	266
6.4.2 微程序控制器的结构	267
6.4.3 微命令编码和微指令格式	268
6.4.4 微指令地址的确定	273
6.5 异常和中断处理	276
6.5.1 基本概念	276
6.5.2 异常处理过程	278
* 6.5.3 带异常处理的处理器设计	279
6.6 本章小结	282
习题 6	284
第 7 章 指令流水线	287
7.1 流水线概述	287
7.1.1 流水线的执行效率	287
7.1.2 适合流水线的指令集特征	288
7.2 流水线处理器的实现	289
7.2.1 每条指令的流水段分析	289
7.2.2 流水线数据通路的设计	290
7.2.3 流水线控制器的设计	295
7.3 流水线冒险及其处理	296
7.3.1 结构冒险	296

7.3.2	数据冒险	297
7.3.3	控制冒险	304
*7.3.4	访问缺失引起的流水线阻塞	310
7.4	高级流水线技术	312
*7.4.1	静态多发射处理器	313
*7.4.2	动态多发射处理器	317
*7.4.3	Pentium 4 处理器的流水线结构	321
7.5	本章小结	324
	习题 7	326
第 8 章	系统总线	329
8.1	总线的基本概念	329
*8.1.1	总线的特性和分类	329
8.1.2	系统总线的组成	330
8.2	总线设计的要素	331
8.2.1	信号线类型	331
8.2.2	总线事务类型	332
8.2.3	总线带宽	333
8.2.4	总线裁决	333
8.2.5	定时方式	338
*8.3	总线接口单元	343
8.4	总线标准	344
*8.4.1	ISA 总线	344
*8.4.2	EISA 总线	345
*8.4.3	PCI 总线	345
8.5	总线结构	351
*8.5.1	单总线结构	351
*8.5.2	双总线结构	351
8.5.3	多总线结构	352
8.6	本章小结	354
	习题 8	355
第 9 章	输入输出组织	358
9.1	外部设备的分类与特点	358
9.1.1	外设的分类	358
9.1.2	外设的特点	359
9.2	输入设备和输出设备	359
*9.2.1	键盘	359
*9.2.2	鼠标器	361

* 9.2.3	打印机	361
* 9.2.4	显示器	364
9.3	外部存储设备	366
9.3.1	磁表面存储原理	366
9.3.2	硬盘存储器	370
* 9.3.3	磁带存储器	377
* 9.3.4	光盘存储器	378
9.4	I/O 接口	380
9.4.1	I/O 接口的功能	380
9.4.2	I/O 接口的通用结构	381
* 9.4.3	操作系统对 I/O 的支持	382
9.4.4	I/O 端口及其编址	384
* 9.4.5	I/O 接口的分类	386
9.4.6	并行传输和串行传输	387
* 9.4.7	I/O 接口举例	390
9.5	I/O 数据传送控制方式	394
9.5.1	程序直接控制 I/O 方式	395
9.5.2	程序中断 I/O 方式	398
9.5.3	DMA 方式	407
* 9.5.4	通道和 I/O 处理器方式	413
9.6	本章小结	416
	习题 9	418
	参考文献	422

第 1 章

计算机系统概述

本章主要介绍计算机系统的基本功能、发展历程、计算机系统的组成、计算机系统层次化结构以及计算机系统的性能评价。

1.1 计算机的功能和特性

计算机是一种能自动对数字化信息进行算术和逻辑运算的高速处理装置。也就是说,计算机处理的对象是数字化信息,处理的手段是算术和逻辑运算,处理的方式是自动的。计算机不仅具有数据处理功能,还具有数据存储、数据传送等功能,因此,计算机与算盘以及各类机械式计算器有本质的差别。

数据处理是计算机系统最基本的功能,计算机不仅可以进行加、减、乘、除等基本算术运算,也可以进行与、或、非等逻辑运算;处理的数据不仅可以是日常生活中使用的十进制数据,也可以是文字、图形、图像、声音、视频等非数值化的各种多媒体信息。

数据存储功能是计算机能采用自动工作方式的最基本保证。计算机中提供的存储器使得程序和数据能事先被存储,并在需要时被取出自动执行。计算机中有各类存储部件,大量的文件信息需要长期存储在计算机系统中,因此有能够长期保存信息的像磁盘存储器那样的非易失性存储器;正在执行的程序和处理的数据需要存放在快速存储器中,因此有半导体元器件构成的随机访问存储器等。

数据传送功能是指计算机内部的各个功能部件之间、计算机主机与外部设备之间、各个计算机系统之间进行信息交换的操作功能。例如,进行数据处理的部件需要从数据存储部件中读取信息或写入信息;输入设备的信息需要送到存储设备保存或送到数据处理部件进行计算;一台计算机产生的数据需要送到另一台计算机,因此,计算机系统中不可避免地需要进行数据传送。

数据处理、数据存储和数据传送的功能最终是通过执行指令来完成的,而计算机指令的执行过程由控制器产生的控制信号来控制。

对照上述基本功能,计算机中需要有对数据进行处理、存储和传送的基本功能部件,以及控制这些功能部件操作的控制部件。通常把进行数据处理的部件称为运算部件,主要运算部件是算术逻辑运算部件;把进行数据存储的部件称为存储器,主要分外存(storage)和

内存(memory);把进行数据传送的部件称为互连部件,主要有总线(bus)、桥接器和 I/O 接口等。

计算机具有高速、通用、准确和智能等特性。计算机的主要核心部件采用高速电子元器件制造,这为计算机快速处理提供了基本保证。通用性体现在两个方面:一是它所处理信息的多样化,可以是各种数值信息和非数值信息;二是计算机应用极其广泛,只要现实世界中某个问题能找到相应的算法,就能编制成程序通过计算机执行来加以解决。此外,计算机强大的计算和自动逻辑推理能力为计算机的准确性和智能化提供了重要基础。

1.2 计算机的发展历程

* 1.2.1 电子计算机的诞生

世界上第一台电子计算机是 1946 年在美国诞生的 ENIAC,其设计师是美国宾夕法尼亚大学的莫齐利(Mauchly)和他的学生艾克特(Eckert)。莫齐利于 1932 年获得著名的霍普金斯大学物理学博士学位并留校任教,1941 年转入宾夕法尼亚大学,他常常为物理学研究中屡屡出现的大量枯燥、繁琐的数学计算而头痛,渴望电子计算机帮忙。一天,他偶然发现爱荷华州立大学的阿塔纳索夫教授正在试制电子计算机,莫齐利深感鼓舞,立即启程拜访。阿塔纳索夫教授热情地接待了这位志同道合的伙伴,毫无保留地介绍了研制情况,并无私地把有关电子计算机设计的珍贵笔记本郑重地交给了莫齐利。莫齐利认真研究了阿塔纳索夫的方案,凭着他特有的聪明才智,加上坚实的数学和物理基础以及电子学方面的丰富实践经验,于 1942 年写出了一份题为《高速电子管装置的使用》的报告。该报告很快引起了一个年轻人——23 岁的研究生艾克特——的兴趣,于是,师生密切协作,开始了计算机的研制。当时正值第二次世界大战期间,军方急需一种高速电子装置来解决弹道的复杂计算问题,莫齐利与艾克特的方案在 1943 年得到了军方的支持。在冯·诺依曼等人的帮助下,他们经过两年多的努力,终于研制成了第一台电子计算机。1946 年 2 月,美国陆军军械部与摩尔学院共同举行新闻发布会,宣布了第一台电子计算机 ENIAC(Electronic Numerical Integrator and Computer,电子数字积分机和计算机)研制成功的消息。

ENIAC 能进行每秒 5000 次加法运算,每秒 50 次乘法运算以及平方和立方、 \sin 和 \cos 等函数数值运算。当时主要用它来进行弹道参数计算,60 秒钟射程的弹道计算时间由原来的 20 分钟一下子缩短到仅需 30 秒,ENIAC 的名声不胫而走。它是个庞然大物,耗资 40 万美元,使用了 18 000 个真空管,重 30 吨,占地面积 170 平方米,耗电 160 千瓦,第一次开机时甚至整个费城地区的照明灯都闪烁变暗。该机正式运行到 1955 年 10 月 2 日,这 10 年间共运行了 80 223 个小时。

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代的主要标志。

* 1.2.2 第一代计算机

第一代计算机(20 世纪 40 年代中到 20 世纪 50 年代末)为电子管计算机,其逻辑元件