

高等学校教材

GAODENGXUEXIAOJIAOCAI

计算机组成原理

JISUANJIZUCHENGYUANLI

主 编 张少白

石油大学出版社

高等学校教材

计算机组成原理

主 编 张少白

副主编 陈志勇 程 勇 刘树刚

石油大学出版社

内容提要

本书根据国家教育部高等学校计算机科学教学指导委员会计算机及应用教材建设组审定的有关计算机组成原理教学的基本要求编写而成,主要介绍计算机单处理机的组成和工作原理。全书共分九章。第一章主要概述计算机的基本组成、层次结构以及解题过程;第二章介绍了各类信息的表示,各种数据格式,讨论了运算器的组成,四则运算及其逻辑实现;第三章介绍了存储器系统的组成,半导体存储器,并行存储器,高速缓冲存储器,虚拟存储器等;第四章介绍了指令格式,寻址技术,指令设置及 RISC 指令系统;第五章讨论了控制器的一般组成,并通过一台模型机介绍总体设计,分析指令流程,进行微程序控制器、组合逻辑控制器的设计,并在此基础上介绍了几种典型的 CPU 结构,从而使读者能从历史的角度体会计算机技术的发展过程;第六章介绍了总线的基本概念和结构、总线接口以及 PCI 总线;第七章介绍了各种新型的输入/输出设备的工作原理;第八章介绍了中断控制逻辑以及各种 I/O 控制方式的实现;第九章为附录,包括实验及课程设计。

本书是山东省多所高校共同组织编写的计算机专业面向 21 世纪系列教材之一。本书内容全面,概念清楚,系统性强,注重实践环节与能力的培养。本书既可作为高等院校计算机专业的专业课教材,又可用作成人高等学校举办的函授、刊授和自学考试辅导班的教材,也可供计算机科技工作者及报考各级水平考试的软件人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理/张少白主编. —东营:石油大学出版社,2002. 7
ISBN 7-5636-1577-6

I. 计... II. 张... 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(2002)第 093557 号

计算机组成原理

主 编 张少白

副主编 陈志勇 程 勇 刘树刚

出版者:石油大学出版社(山东 东营 邮编 257061)

印刷者:临清万方印务有限责任公司印刷

发行者:石油大学出版社(电话 0546-8392062)

开 本:787×1092 1/16 印张:18.5 字数:474 千字

版 次:2002 年 7 月第 1 版 2002 年 7 月第 1 次印刷

定 价:25.00 元

前 言

计算机组成原理是计算机科学技术的一门核心专业基础课程。编写本教材的主要依据是《全国计算机组成原理教材详细大纲制定会会议纪要》和《计算机科学教学计划》两个重要文件。前者提供了编写本教材的基本要求,后者给定了跟踪国际水平(ACM/IEEE-CS 联合教程)、适应我国经济发展的方向。

计算机组成原理与多门课程相关联,内容多,难度大,知识面广,实践性强,内容更新快。本课程的基本任务是:研究单机系统的内部工作机制及组成原理。全书突出了计算机的基本原理、基本知识和基本技能的训练。通过课堂教学和实践环节的训练,使读者掌握计算机各主要功能部件的组成原理、设计方法及逻辑实现,并能相互连接组成一个单机系统,为读者将来从事计算机系统设计、开发及应用等工作打下良好的基础。

本书具有如下特点:重点突出,循序渐进,写法新颖,叙述简明扼要,文字通俗易懂,并加强了对与本课程相关的新知识、新内容的充实和介绍。

本教材突出介绍计算机组成的一般原理,不结合任何具体机型,教学参考课时为 60~80 学时。本教材包括如下内容:计算机系统概述;数据信息的表示;运算及逻辑实现;信息的存储及存储系统;指令系统及其寻址技术;中央处理机的组成,微程序控制器的原理及其设计,组合逻辑控制器与 PLA 控制器;中断的基本概念;输入/输出设备;系统总线及控制;输入/输出系统及各类接口。

本书可以作为计算机专业和非计算机专业的本、专科学生教材,也可用于各类函授、自学考试辅导班以及计算机科技工作者的参考用书。

本书由济南大学张少白主编,山东大学宁飞教授主审。各章具体编写情况如下:

第一、二章由烟台大学刘树刚编写;第三、七章由山东大学陈志勇编写;第四、五章由济南大学张少白编写;第六、八、九章由山东科技大学程勇编写。全书由张少白统稿。济南大学史奎凡教授和曲守宁教授、山东大学宁飞教授、烟台大学宋宜斌教授对本书的成稿给予了具体指导和帮助,提出了不少宝贵且极具参考价值的修改意见。济南大学各级领导关心重视本书的编写工作,也为本书最后与读者见面提供了支持和帮助。在此,作者对上述领导和专家表示由衷的感谢!

由于编写时间仓促、水平有限,书中定有错误和不当之处,恳请广大读者及同行专家学者们批评指正。

编 者

2002 年 6 月于济南大学

目 录

第一章 计算机系统概论	1
1.1 计算机的发展与应用	1
1.1.1 计算机的发展概况	1
1.1.2 计算机发展的趋势	2
1.1.3 计算机应用领域简介	2
1.2 计算机的特性	4
1.3 计算机系统组成	4
1.3.1 计算机硬件系统	4
1.3.2 计算机软件系统	6
1.4 计算机系统的层次结构	7
1.4.1 多级组成的计算机系统	7
1.4.2 软件与硬件的逻辑等价性	8
习 题	9
第二章 数据的表示及运算方法	10
2.1 数值数据的表示法	10
2.1.1 数的机器码表示法	10
2.1.2 数的定点表示法与浮点表示法	13
2.1.3 机器数的移位与舍入	14
2.1.4 十进制数的二进制编码	15
2.2 非数值数据的表示法	16
2.3 数据信息的单位和长度	16
2.3.1 数据的单位	16
2.3.2 机器字长	16
2.4 数据信息的校验	17
2.4.1 奇偶校验	17
2.4.2 海明校验	17
2.4.3 循环冗余校验	20
2.5 定点补码加减法运算	21
2.5.1 补码加减法运算	21
2.5.2 反码加减法运算	24
2.6 定点乘法运算	25
2.6.1 原码一位乘法	25
2.6.2 补码一位乘法	26
2.6.3 补码两位乘法	29
*2.6.4 快速乘法简介	29

2.7	定点除法运算.....	32
2.7.1	原码一位除法.....	32
2.7.2	补码一位除法.....	32
*2.7.3	快速除法简介.....	33
2.8	浮点数的四则运算.....	35
2.8.1	浮点加减运算.....	36
2.8.2	浮点乘法运算.....	38
2.8.3	浮点除法运算.....	38
2.9	逻辑运算.....	39
2.10	运算器及其数据通路.....	39
2.10.1	运算器的基本结构.....	39
2.10.2	加法器及其进位系统.....	43
2.10.3	用集成电路构成ALU的基本原理.....	46
习 题		48
第三章	信息的存储—存储器组织.....	50
3.1	存储器与存储系统概述.....	50
3.1.1	存储器分类.....	50
3.1.2	存储系统.....	51
3.2	主存储器.....	53
3.2.1	主存储器的主要技术指标.....	53
3.2.2	主存储器的基本结构和基本操作.....	54
3.3	半导体存储器.....	57
3.3.1	静态MOS存储器.....	57
3.3.2	动态MOS存储器.....	59
3.3.3	只读存储器.....	65
3.3.4	快擦型存储器(Flash Memory).....	67
3.3.5	半导体存储器的组成.....	67
3.4	高速存储器.....	70
3.4.1	双端口存储器.....	70
3.4.2	多体交叉存储器.....	71
3.4.3	相联存储器.....	73
3.5	高速缓冲存储器(Cache).....	75
3.5.1	Cache存储器工作原理.....	75
3.5.2	Cache存储器组织.....	76
* 3.5.3	Cache存储器举例.....	80
3.6	虚拟存储器.....	81
3.6.1	虚拟存储器的基本概念.....	81
3.6.2	段式虚拟存储器.....	81
3.6.3	页式虚拟存储器.....	82
3.6.4	段页式虚拟存储器.....	83

3.6.5	存储管理部件MMU	84
3.7	存储保护	84
3.7.1	存储区域保护	85
3.7.2	访问方式保护	87
	习 题	87
第四章	控制信息的表示—指令系统及寻址方式	90
4.1	指 令	90
4.1.1	指令格式	90
4.1.2	计算机中常见的寻址方式	94
4.1.3	寻址方式举例	102
4.1.4	指令的类型	106
4.2	指令格式的比较	109
4.2.1	对指令系统的基本要求	109
4.2.2	选择指令格式的基本因素	110
4.3	指令系统举例	111
4.3.1	模型机硬件结构简介	111
4.3.2	模型机的指令格式	111
4.3.3	模型机的寻址方式	112
4.3.4	模型机指令应用举例	113
4.4	指令(程序)的执行过程	119
4.4.1	顺序控制	119
4.4.2	超前控制	121
4.4.3	流水线控制	121
4.5	精简指令系统计算机RISC	122
4.5.1	RISC的产生和发展情况	122
4.5.2	RISC的主要特点	125
4.5.3	RISC的指令系统	126
	习 题	128
第五章	信息流的控制	130
5.1	中央处理器的功能与组成	130
5.1.1	中央处理器的功能	130
5.1.2	中央处理器的结构框图	131
5.2	控制器的功能及结构框图	133
5.2.1	控制器的功能	133
5.2.2	控制器的结构框图	134
5.3	控制方式及时序部件	136
5.3.1	控制方式	136
5.3.2	时 序	138
5.4	控制器的组成	140
5.4.1	一台模型机的总体设计	140

5.4.2	微程序控制器的原理及设计	143
5.4.3	组合逻辑控制器的设计	156
5.5	传统CPU	160
5.5.1	M6800 CPU	160
5.5.2	Intel 8088 CPU	161
5.5.3	IBM 370 系列CPU	162
5.5.4	Intel 80486 CPU	163
5.6	流水CPU	165
5.6.1	并行处理技术	165
5.6.2	流水CPU的结构	165
5.6.3	流水线中的主要问题	168
5.6.4	奔腾CPU	170
5.7	RISC CPU	173
5.7.1	MC88110 CPU结构框图	173
5.7.2	MC88110的指令流水线	173
5.7.3	指令动态调整策略	174
5.8	多媒体CPU	176
5.8.1	多媒体技术的主要问题	176
5.8.2	MMX技术	177
5.8.3	动态执行技术	180
	习 题	182
第六章	系统总线	184
6.1	总线的概念与连接方式	184
6.1.1	单总线	184
6.1.2	双总线	185
6.1.3	三总线	185
6.2	总线接口	186
6.2.1	信息传输方式	186
6.2.2	接口的基本概念	187
6.3	总线的控制和通信	188
6.3.1	总线控制	188
6.3.2	总线通信	190
6.4	ISA总线	191
6.5	外围部件连接(PCI)总线	192
6.5.1	PCI总线结构	192
6.5.2	PCI总线的引脚	193
6.5.3	PCI总线信号	193
6.5.4	PCI总线周期类型	195
6.5.5	PCI总线仲裁	196
	习 题	197

第七章	输入/输出设备.....	198
7.1	外部设备的特点及分类.....	198
7.1.1	外部设备的特点.....	198
7.1.2	外部设备的分类.....	199
7.2	键盘输入设备.....	200
7.2.1	无编码键盘.....	200
7.2.2	编码式键盘.....	201
7.2.3	PC机101键盘简介.....	202
7.2.4	键盘控制器.....	203
7.3	显示设备.....	204
7.3.1	显示设备分类.....	204
7.3.2	显示技术中的有关术语.....	204
7.3.3	显示器工作原理.....	207
7.4	打印设备.....	209
7.4.1	打印设备的分类.....	209
7.4.2	点阵针式打印机.....	209
7.4.3	激光打印机.....	211
7.4.4	喷墨打印机.....	212
7.5	辅助存储器.....	212
7.5.1	辅助存储器的种类与技术指标.....	212
7.5.2	磁记录原理与记录方式.....	214
7.5.3	硬磁盘存储器.....	217
7.5.4	软磁盘存储器和磁带存储器.....	219
7.5.5	光盘存储器.....	222
习 题		224
第八章	输入/输出系统.....	226
8.1	输入/输出系统概述.....	226
8.1.1	I/O设备的编址方式与I/O指令.....	226
8.1.2	输入/输出接口.....	228
8.1.3	信息交换控制方式.....	228
8.2	程序查询方式.....	230
8.2.1	程序查询方式接口电路.....	230
8.2.2	程序查询方式的工作过程.....	231
8.3	程序中断方式.....	232
8.3.1	中断的基本概念.....	232
8.3.2	程序中断方式的基本接口.....	235
8.3.3	单级中断系统.....	236
8.3.4	多级中断系统.....	238
8.3.5	奔腾(Pentium)机的中断机制.....	240
8.4	直接主存访问方式.....	243

8.4.1	DMA方式的基本概念	243
8.4.2	DMA的三种工作方式	243
8.4.3	基本的DMA 控制器	245
8.4.4	选择型和复用型DMA控制器	247
8.5	通道方式.....	249
8.5.1	通道的功能	249
8.5.2	通道的类型	251
8.5.3	I/O处理机(IOP).....	252
8.5.4	外围处理机(PPU).....	252
习 题		253
第九章	实验和课程设计	254
9.1	概 述.....	254
9.2	常用数字功能器件.....	255
9.3	运算器组成实验.....	260
9.4	半导体存储器原理实验.....	263
9.5	数据通路组成与故障分析实验.....	265
9.6	微程序控制器组成实验.....	268
9.7	CPU组成与指令周期执行实验.....	273
9.8	一台模型计算机的设计与调试.....	275
参 考 文 献		284

第一章 计算机系统概论

计算机系统由硬件系统和软件系统两部分组成。硬件是由物理的电子元器件构成的，主要包括 CPU、存储器、输入/输出接口和外部设备等。CPU 又包括运算器和控制器，它相当于计算机系统的大脑。软件由程序和数据组成，它能在特定的硬件系统上执行，一般分为系统软件和应用软件。操作系统、数据库管理系统等属于系统软件，它们可以对计算机的资源进行管理，提高计算机的工作效率以及方便用户操纵计算机，而普通的应用软件则是由用户编写的用于特定场合的程序。

本章简要地介绍了计算机的基本概貌及工作原理，使读者建立起一台计算机的初步概念，为以后深入地学习各章打下基础。

1.1 计算机的发展与应用

1.1.1 计算机的发展概况

世界上的第一台电子计算机是 1946 年在美国诞生的，距今只有 50 多年的时间。尽管这台被命名为 ENIAC(Electronic Numerical Integrator And Calculator)的电子管计算机每秒只能进行 5000 次运算，体积庞大，耗电量惊人，现在看起来非常“笨拙”和“低级”，可在当时却轰动了世界，它标志着人类一个新的时代——信息时代的开始。

50 多年来，计算机的发展可谓日新月异。在计算机发明初期，它还是极少数科学家才能够接触到的专门用于科学计算的昂贵工具，而今天，它却已成为家庭普遍拥有的学习、娱乐和上网用的“电脑”。总体来说，计算机的发展大体经历了以下几个阶段：

第一代：电子管计算机。其主要特征是：主机采用电子管器件，应用以科学计算为主，软件采用机器语言、汇编语言，时间大约在 1946~1957 年。

第二代：晶体管计算机。这个时代计算机的主要特征是：主机采用半导体器件，应用领域扩大到数据处理，软件采用高级语言编程，出现了操作系统，时间大约在 1958~1964 年。

第三代：集成电路(IC)计算机。主机采用集成电路，尺寸更小、耗电更少。这一时期操作系统开始普及，软件工程兴起，应用领域广泛，终端技术发展迅速，时间大约在 1965~1970 年。

第四代：大规模集成电路(LSI)和超大规模集成电路(VLSI)计算机。随着制造工艺的进步，

集成度越来越高, 功耗越来越低。芯片组技术发展迅速, 以前用于通讯、声音、显示等的外围芯片都被集成在一起。编程采用软件工具, 面向对象的编程语言基本取代了过程式语言。应用领域遍及各行各业, 从科研、教育、生产、管理、办公到家庭无孔不入。多处理机系统、分布式系统、计算机网络、因特网出现并得到长足的发展。笔记本电脑、掌上电脑得到应用并开始逐渐普及, 计算机向着微型化、智能化的方向发展, 时间为 1970 年至今。

1.1.2 计算机发展的趋势

计算机的发展经历了从大型机到小型机再到微型机的三次浪潮。第一次浪潮(20 世纪 50~60 年代)是以 IBM 370 为代表的所谓大型机时代, 其特点是以批处理为主, 主要用于大规模科学计算。

第二次浪潮(20 世纪 60~70 年代)是所谓的小型机时代, 典型代表是 DEC 公司的 PDP 和 VAX 系列计算机, 其特点是多用户分时处理, 每台小型机可带几个到几十个终端。

第三次浪潮(20 世纪 70 年代以后)是微型计算机时代, 其代表是 IBM PC 和苹果机。微机由于体积小、价格低, 很快得到普及。目前的微机在运算能力上完全可与当年的大型机相媲美, 并迅速渗入到企业、机关、学校和家庭。微型机继续向微型化、集成化、智能化、网络化的方向发展。尤其是当今 Internet 技术的飞速发展、应用和普及, 以数据通讯和多媒体技术为核心的计算机网络技术和分布式计算机系统结构技术, 已成为研究和应用的热点。

随着社会的发展和进步, 巨型机的研究和应用也取得了很多成果。例如, 天气预报、地震灾害预测、模拟核爆炸等需要的计算量特别大, 如果不借助于巨型机的强大运算能力, 往往一个问题的求解要花几天甚至几个月、若干年的时间, 即使解出来了, 也没有什么实际意义了。所以, 巨型机还是大有可为的, 在我国, 已有银河、曙光等巨型机产品。

1.1.3 计算机应用领域简介

目前, 计算机对普通百姓而言已不再是一个陌生的名词, 其应用领域不断扩大, 遍及社会生活的方方面面。

1. 在科学计算中的应用

计算机最早应用于军事和科学计算。第一台计算机的研制目的就是为了用于弹道计算, 以后如导弹、原子弹、人造卫星、航天飞机、天气预报和大型工程的设计、计算等都离不开计算机。在基础科学研究方面, 如生物学中的 DNA 和人工蛋白的合成、人类基因重组排序等复杂计算, 也都需要大型高速计算机的帮助。

科学计算的特点是计算量大、数值变化范围大, 而这些正是计算机的特长。

2. 在实时控制中的应用

计算机在工业实时控制领域应用广泛, 如大型发电厂、变电站可利用计算机自动采集电流、电压等模拟量和开关状态等实时数据, 供调度人员监视、控制和分析, 以保证生产的正常进行。应当指出的是, 微机的出现为实时控制开辟了更为广阔的应用空间, 特别是单片机的应用, 代替了老式仪器、仪表的功能, 而且还具有可编程、自动化和智能化等特点, 使工业自动化水平上了一个新台阶。实现无人值守是实时控制的一个长远目标。

用于控制的计算机, 其输入信息往往是电压、温度等模拟量, 需先把它们转换成数字量才能让计算机进行处理或计算。当从被控制对象测量到的信息是电压、温度等非电量时, 要

把它们转换成电量，然后再转换成数字量。另外，计算机要想控制外部设备，也要把数字量转换为模拟量，方能对外界施加一定的控制，所以，D/A 和 A/D 转换就必不可少。

3. 在数据处理中的应用

数据是信息的表现形式，信息社会每时每刻都会产生大量的数据。电子计算机应用最为广泛的领域就是数据处理。所谓数据处理是指使用计算机处理生产、生活中的大量信息。管理信息系统(MIS)、决策支持系统(DSS)、专家系统(ES)以及办公自动化系统(OA)都需要数据处理的支持。

数据处理具有计算简单、数据输入/输出量大的特点。

4. 在辅助设计和辅助制造中的应用

计算机在辅助设计和辅助制造(CAD/CAM)方面的应用是十分重要的。现在许多大型企业的产品设计、制造都离不开 CAD/CAM。利用计算机辅助设计和制造系统可以大大提高设计效率，减少浪费，提高产品质量，降低成本。

在计算机辅助设计和辅助制造领域，图形处理占有非常重要的地位，计算机一般需配备图形显示、扫描输入、绘图仪等硬件，还需要专门的软件系统如 AutoCAD 等。

5. 在办公自动化中的应用

办公自动化离不开计算机，别说收发电子邮件，光是文字处理就已在很大程度上依赖于计算机了。在办公自动化中，计算机能支持一切办公业务，如文档的管理、报表的管理甚至远程会议。我们比较熟悉的办公软件有 Microsoft Office 等。

6. 在网络和电子商务中的应用

进入 21 世纪，计算机通信和网络技术的发展突飞猛进。人们在因特网上可以进行各种各样的活动，这方面的应用有：电子邮件、网上购物、网上视频点播以及各种各样的信息查询、信息发布、问题讨论、网络会议、网上银行等等。

因特网上最活跃、最有前景的应用领域是电子商务(EC——Electronic Commerce 或 EB——Electronic Business)，电子商务也就是商务活动的电子化，可以在网上进行交易、支付等活动。

7. 在教育和卫生领域的应用

创立学校、应用书面语言、发明印刷术，被称为教育史上的三次革命。目前，计算机广泛应用于教育，被誉为“教育史上的第四次革命”。

计算机辅助教学(CAI)的应用较多也较早。相比原始的挂图手段，CAI 软件具有明显的优势，比如在数据结构的教学，使用 CAI 软件可以观察数据的动态变化情况，易学易掌握。目前，远程教学正向着实用化、普及化的方向发展，学生可以坐在家中和远在千里之外的老师以及同学进行交流。

计算机的问世，同样为人类的健康带来了福音。一方面，使用计算机技术的各种医疗设备应运而生，如心电图分析仪、CT 等，这些较先进的设备和仪器为及早发现疾病提供了强有力的手段。另一方面，集专家经验之大成，利用计算机技术和人工智能理论建成的各种各样的医疗专家系统，为诊治疾病发挥了很大作用，同时，远程医疗也使许多疑难病症得到及时诊治。

8. 人工智能技术

人工智能就是要使计算机能够模仿人类的思维活动，使计算机具有智能。人工智能的研究课题是多种多样的，诸如机器学习、问题证明、景物分析、智能机器人等。目前，人工智

能在文字识别、语言理解等方面都已经取得了不少成就，例如笔输入法、语音输入法等。

人工智能研究中最有成就的要属“机器人”，工业机器人能在高温、有毒等恶劣环境下工作，尽管只能做一些非常简单的事情，但是任务却能完成得非常出色。现在，更高明的智能机器人会自己识别控制对象和工作环境，能避开障碍物，能听懂人说的话，并能作出判断和决策。

虽然人工智能的研究曾遇到不少挫折，但使计算机具有人类的智能是人们孜孜以求、永不放弃的目标。

1.2 计算机的特性

1. 能在程序控制下自动地进行工作

计算机能按照事先编制好的程序自动地进行工作，除了人机对话等需要交互的时候，一般不需要人工干预。计算机加电启动后从默认的起始地址开始，在 CPU 的指挥下一条一条地往下执行指令，处理发生的各种情况。

2. 运算速度快

现在的计算机主频高达 1GHz 以上，每秒钟可执行几亿至几十亿条指令。许多问题的求解如果全靠人工来完成，简直是无法想像的。但实际上计算机代替不了人，它只是部分地解放了人的大脑，是人的智力的延伸，正如机器曾经解放了人的双手，是人的体力的延伸一样。

3. 运算精度高

计算机的字长越长，运算精度就越高，而且计算机只要不发生故障，就不会像人一样容易出错。现在的计算机一般是 32 位的，64 位的计算机也已应用于某些特定的计算场合，完全能够满足目前的科学计算和日常业务处理的需要。

4. 具有很强的记忆能力

具有存储信息的能力是数字计算机的一个主要特点，是计算机能自动工作的原因之一。现代计算机的主存与外存的容量越来越大，一方面提高了处理能力，另一方面能大量、长期地保存各种信息。当今社会可谓信息时代、网络时代，数据库的地位日趋重要，利用计算机对信息进行组织、保存和管理，可以大大减轻人们的负担，提高查询速度，减少出错的可能性。

5. 通用性强

电子数字计算机处理的是数字化信息，不仅能做数值运算，也能处理非数值信息；不仅能做算术运算，也能做逻辑判断。这就使计算机具有极强的通用性，能应用于科学研究领域并渗透到社会生活的各个方面。

1.3 计算机系统组成

1.3.1 计算机硬件系统

所谓硬件(Hardware)是指计算机系统中使用的电子线路和物理装置。硬件是软件赖以执

行的物质基础，是看得见的实体，如 CPU、存储器、外部设备等，它们共同组成了计算机的硬件系统。计算机硬件系统框图如图 1-1 所示。

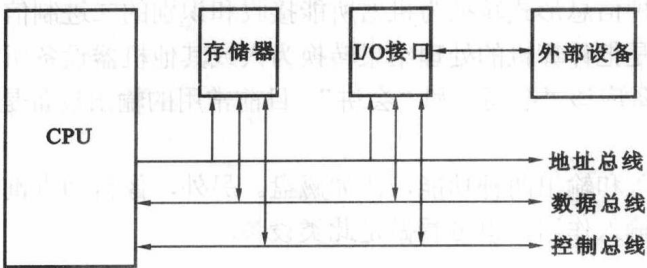


图 1-1 计算机硬件系统框图

1. CPU

中央处理单元 CPU(Central Processing Unit)是计算机硬件系统的核心部件，相当于人类的大脑，它由运算器、控制器和寄存器组成。运算器的主要功能是进行算术运算和逻辑运算；控制器用来控制计算机的各个部件有条不紊地协调工作；寄存器用于保存计算过程中的临时数据，如指令的地址、操作数和中间结果等。

2. 存储器

存储器的功能是保存程序和数据。程序是指令的集合，是计算机的一系列操作，数据则是计算机操作的对象。存储器由存储体、地址译码器、读/写控制电路和总线组成。存储体由存储介质组成，一般为磁性材料和半导体器件，主要功能是存储信息。存储体被划分为很多存储单元，存储单元按顺序进行编号，称为存储单元的地址。存储容量就是存储器所占有的存储单元的总数。地址译码器的功能是将存储单元的地址进行翻译，找到对应的存储单元。读/写控制电路的功能是控制存储器的读/写操作。读操作对原来存储的信息没有影响，而写操作会把原来的信息覆盖。总线分为地址总线 and 数据总线，地址总线为地址译码器提供地址码，数据总线用于传送要写入到存储器或要从存储器读出的数据，具体是读还是写，由 CPU 发出命令，由读/写控制电路加以控制。

存储器的存储容量通常用 KB，MB，GB 等表示，B 表示字节(Byte)， $1K = 2^{10} = 1024$ ， $1M = 2^{20} = 1024K$ ， $1G = 2^{30} = 1024M = 1KM$ 。

计算机的存储器有内存和外存之分，内存就是所谓的主存，是指直接挂在 CPU 总线上的存储器，速度很快，价格很高；外存就是通常所说的辅存，如硬盘等，容量很大，价格相对便宜，但速度较慢，而且外存要通过 I/O 接口才能和 CPU 进行信息交换。

3. I/O 接口与输入/输出设备

I/O 接口是输入/输出接口的简称，它是 CPU 与外部 I/O 设备之间的缓冲部件。外部设备和内存不同，不能直接通过系统总线和 CPU 通信，必须要经过接口这个中间桥梁。原因有二：一是速度匹配问题，外设的速度一般远远低于 CPU 的速度，中间必须有一个缓冲；二是电平转换问题，外设所使用的电平和 CPU 所使用的电平有时相差很大，再者由于外设多种多样，大多数具有机械、电气部分，中间必须进行电平的转换，否则可能把系统烧坏。

另外，接口还具有地址译码、码制转换等功能。系统为每个外部设备分配若干地址，称为端口地址，以区别于主存地址。当 CPU 发出读/写等命令时，地址译码起到选择设备的作用。码制转换可以进行数据的串—并转换等。

理想的输入设备应该“会看”和“会听”，即能够把人们用文字、语言所表达的信息直

接送入计算机内部进行处理。现在这种理想的输入设备已进入实用阶段，如语音输入、手写输入、文字扫描与识别系统等。目前常用的输入设备是键盘、鼠标、扫描仪等，它们的作用是把人们所熟悉的某种信息形式转换为机器所能接收和识别的二进制信息形式。

输出设备的作用是把计算机的处理结果转换为人或其他机器设备所能接收和识别的信息形式。理想的输出设备应该“会写”和“会讲”。目前常用的输出设备是显示器、打印机、绘图仪等。

有的设备兼有输入和输出两种功能，比如磁盘。另外，像自动查询系统常用的触摸屏，既有显示作用，又有输入作用，也可看做是此类设备。

1.3.2 计算机软件系统

1. 软件的组成与分类

一个计算机系统中使用的各种程序的集合，称为软件系统。

计算机软件一般可粗略地分为两大类：系统程序和应用程序。当然，有时划分的界限不是绝对的，往往比较模糊。

系统程序又称系统软件，比如操作系统。系统程序的主要功能是对整个计算机系统的资源进行管理，它能提高计算机的使用效率，方便用户操作计算机。系统程序包括：(1) 各种服务性程序；(2) 语言处理程序；(3) 操作系统；(4) 数据库管理系统；(5) 标准程序库；(6) 网络通信软件。

应用程序也称应用软件，是用户在特定领域使用的程序，针对一个具体的业务而编制，如字处理、学籍管理、工资管理、成本核算、CAD/CAM 等。随着计算机的发展和普及，应用程序的种类越来越多，功能也越来越强。

2. 软件的发展演变

在计算机发明初期，人们直接用机器语言编写程序。因为机器语言是计算机能理解和执行的语言，所以这种手工编写的机器语言程序不需要进行翻译，可以直接送入机器内部运行。但直接用机器语言编写程序是一件很复杂的工作，必须记住每一条指令的二进制代码，效率低下、极易出错，这就大大地限制了计算机的使用。

为了使编写程序更加方便和提高机器的使用效率，人们对手工编程方法进行了改进，用一些约定的符号表示指令，即把机器指令符号化，用这些符号代替指令来编写程序，于是汇编语言出现了。对编程人员来说，符号语言简单直观、便于记忆，比二进制数表示的机器语言方便了许多，大大地减轻了编程负担，使程序设计在方法上产生了第一次飞跃。但由于计算机只能识别机器语言而不认识这些符号，为此还需要一个汇编程序，将符号化的汇编语言转换为二进制的机器语言。

使用汇编语言编程比使用机器语言编程前进了一大步，但不同的计算机指令系统也不相同，所以人们使用计算机时，必须先花很多时间熟悉这台机器的指令系统，然后再用它的符号语言来编写程序，还是很不方便。而且汇编语言和自然语言差别很大，为了进一步提高程序设计效率和便于程序的阅读与交流，使不熟悉具体计算机的人也能方便地使用计算机，人们又创造了各种接近于自然语言的高级语言。

常用的高级语言有 PASCAL, BASIC, C 语言等。高级语言通用性强，可以在不同的机器上运行，而且语法已接近于自然语言，便于理解。高级语言编写的程序虽然在执行效率上

不如汇编语言，而且占用更多的存储空间，但带来的好处是显著的，它使得大多数人都可以学会编程，对于计算机的推广和普及起了巨大的作用。

用高级语言书写的程序称为源程序，显然，这种源程序如同汇编源程序一样，是不能由机器直接识别和执行的，必须把它翻译成机器能理解和执行的机器语言。目前主要采用两种方法进行翻译。一种方法称为编译，它把源程序一次性翻译成目标程序，然后交给机器执行。另一种方法称为解释，把源程序一条一条地拿出来边解释边执行，这种方法执行效率较低。

随着计算机技术的快速发展，原始的操作计算机的方式越来越不适应，特别是用户直接使用机器并独占机器，效率太低，并且机器越来越复杂，对它的控制也越来越难。于是人们又设计了一类程序，叫做操作系统。有了它，就可以方便地使用计算机，让操作系统来管理计算机的硬件和软件资源，并组织计算机的工作流程，从而使多个用户能有效地共用一套计算机系统。操作系统的出现，使计算机的使用效率大大提高。

操作系统大致可分为以下四种：

(1) 批处理系统。作业成批连续地进入系统，由作业调度程序进行统一管理，其特点是作业吞吐量大，机器使用效率高，但响应时间太长，使用不方便。

(2) 分时操作系统。把时间划分为时间片，允许多个用户轮流使用系统，每个用户通过自己的终端设备联机使用计算机，感觉好像自己单独占用一台计算机一样。分时系统方便了用户和系统进行交互，可以随时干预自己作业的运行。这样，一台物理机器变成了多台虚拟机，UNIX 操作系统就是一种成功的分时系统。

(3) 实时操作系统。在某些应用场合，对时间的要求很高，比如电力系统、订票系统等。实时系统能保证高可靠性和连续的人机对话，当然还需要实时时钟管理。

(4) 网络操作系统。当今社会可谓网络时代，操作系统已不能仅管理一台计算机，而要对分布在不同地域的多台计算机进行管理，这就是网络操作系统的任务。网络的发展经历了从局域网到广域网再到 Internet 的发展阶段，相应地网络操作系统也得到了长足的发展和进步。

在操作系统的支持下，软件开发工具逐渐代替了传统的语言编程模式，开发工具使用面向对象技术、组件技术等，使得编程快速化、自动化。

1.4 计算机系统的层次结构

1.4.1 多级组成的计算机系统

现代计算机是一个十分复杂的硬件和软件组成的有机整体。它通常由五个以上不同的级别组成，在每一级上都能进行程序设计，如图 1-2 所示。

第一级是微程序级，这是一个实在的硬件级，它由机器硬件直接执行微指令。如果某一个应用程序直接用微指令来编写，那么即可在这一级上运行该应用程序。第二级是传统机器级，也称为机器语言级，它由微程序解释机器指令系统，这一级也属于硬件级。第三级是操作系统级，它由操作系统程序实现。这些操作系统程序由机器指令和广义指令组成，广义指令是操作系统定义和解释的软件指令，所以这一级又称为混合级。第四级是汇编语言级，它给程序人员提供一种符号形式语言，以减少程序编写的复杂性，这一级由汇编程序支持和执