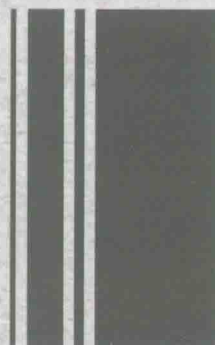
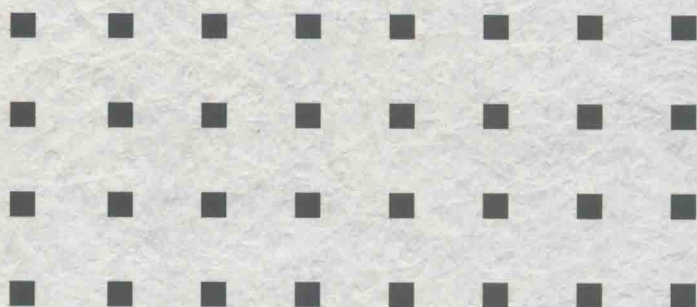


高等学校电子信息类“十三五”规划教材

国家自然科学基金资助项目

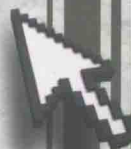
西安电子科技大学立项教材



计算机导论 与程序设计

主编 王俊平

参编 孙德春 沈 中 李 勇
梁刚明 郭佳佳 胡 静



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校电子信息类“十三五”规划教材

★ 国家自然科学基金资助项目

★ 西安电子科技大学立项教材

计算机导论与程序设计

主编 王俊平

参编 孙德春 沈 中 李 勇

梁刚明 郭佳佳 胡 静

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书以计算机解决问题的规律为驱动来组织内容,涵盖了计算机导论、基础算法、程序设计语言基础、C 语言程序设计、数据结构和基本的软件工程知识,以期填补现有的独立学科单元内容与读者开发软件项目所需知识之间的鸿沟。这样以解决问题为导向来组织内容,不仅符合计算机解决问题的规律,同时也会提升读者的学习兴趣。

除上述特点外,本书在理论上加入了超图这样的非线性数据结构,在应用上加入了作者在人工智能领域图像处理方向上的图像森林变换和图像质量评价的最新研究成果,使读者对计算机的应用有更深入的了解。

本书既可作为高等院校本科生计算机类课程的基础教材,也可作为专业人员的参考书,同时还可作为非计算机专业学生学习计算机编程的教材。

图书在版编目(CIP)数据

计算机导论与程序设计 / 王俊平主编. — 西安: 西安电子科技大学出版社, 2018.11

ISBN 978-7-5606-5135-4

I. ① 计… II. ① 王… III. ① 电子计算机—理论—高等学校—教学参考资料 ② 程序设计—高等学校—教学参考资料 IV. ① TP3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 236269 号

策划编辑 李惠萍 高 樱

责任编辑 师 彬 阎 彬

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西日报社

版 次 2018 年 11 月第 1 版 2018 年 11 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 17

字 数 402 千字

印 数 1~3000 册

定 价 38.00 元

ISBN 978-7-5606-5135-4 / TP

XDUP 5437001-1

***** 如有印装问题可调换 *****

前 言

目前,计算机的应用广泛、深入。同时,利用计算机解决实际问题的技术也是我国加快制造业和推动互联网、大数据、人工智能与实体经济深度融合的重要技术支撑。此外,培养学生高水平地利用计算机解决实际问题的能力也是我国“建设创新型国家、加快一流大学和一流学科建设、实现高等教育内涵式发展”的重要组成部分。

本书为西安电子科技大学2018年立项支持教材,是西安电子科技大学新的人才培养方案确立的本科公共大类课程之一。新的课程标准开课思路先进,大纲制定与国际接轨,但目前市面上还没有对应的中文教材。基于此,作者精心编写了本书。书中涵盖了“计算机导论与程序设计”课程大纲要求的必修内容,阐述了利用计算机解决实际问题的基础理论与基本技术。编写中,作者以计算机解决问题的规律为驱动来组织内容,从而填补了现有的以内容为单元编写的书籍与读者开发项目所需知识之间的鸿沟。另外,本书作为大一学生的第一门计算机系统认知和应用课程教材,在内容上涵盖了基础算法、程序设计语言基础和C语言程序设计、数据结构和软件工程基础。这样以解决问题为导向组织教材内容的方式不仅符合计算机作为工具来解决问题的规律,同时也会提升读者的学习兴趣。这也正是本书特色所在。

用计算机解决问题涉及的层面很多。本书从计算机系统、问题、计算机和问题相结合三个方面来考虑,最终达到培养学生利用计算机解决问题的目的。

(1) 从计算机系统层面上来看,本书阐述了编程人员对计算机系统应该有的认知:计算机系统工作原理和内存特性,它们是解决问题的最基本的计算机理论基础,该部分及相关内容构成本书第1章。从问题解决并考虑到问题在计算机上解决的特性,本书对解决问题的基础算法及描述工具等进行了详细系统的阐述,这部分内容安排在本书第2章。有了解决问题的算法后,如何将这些算法在计算机上实现?结合问题和计算机系统知识,在第3章中讨论了实现算法的计算机语言及其特性,并对目前教学与应用中常用的C语言及其语法规则进行了系统介绍,尤其对问题对应的数据如何选择内存空间大小做了重点说明,它们是高质量程序设计的基础。在本书中,我们也对简单的C程序设计所涉及的函数、程序、文件、构造数据类型、库函数的功能和使用进行了详细系统的描述,同时配有详细的应用举例,该部分内容安排在本书的第4章。以上第1章至第4章内容可以完成简单问题的计算机求解。

(2) 从问题角度来看,计算机解决问题时需要抽象出数据的结构特性。数据的结构特性从逻辑上分为线性结构和非线性结构,其中部分线性结构对应于本书的第5章。在第5章中,包括最经典的线性表、队列和堆栈三种结构的逻辑定义、特性、运算及其结合C语言的计算机程序实现。在此基础上,作为线性结构的应用范例,第5章中还实现了图像森林变换。这样安排,一方面体现了线性结构的应用,另一方面也让读者对当前人工智能领域中的计算机应用场景有所接触,为将来在工作中应用计算机打下基础。

非线性数据结构——树、图和超图等内容安排在本书第6章,其中超图部分是国家自然科学基金项目(61173088, 618724331, 61671348)资助的最新研究成果。此章同样包括了

两种结构的逻辑定义、运算及其物理实现。值得指出的是：此章加入了超图这种数据结构及其简单的应用，该部分是对于现有的经典非线性数据结构的适当扩充，而这种超图的数据类型在当前人工智能领域的图像处理领域中得到了应用。可以预期的是，随着计算机科学等相关技术的不断发展，这些应用还会进一步推广。通过该部分内容，希望读者能够体会到解决问题的思路——需要创新性地结合不同学科的理论和技术，因此其他学科的专门知识积累也是需要的。

(3) 本书将软件作为解决问题的产品。从软件产品开发角度来看，本书系统论述了软件开发需要的技术、方法和规则。以这些内容为指导，可以开发出专业的软件产品。该部分内容安排在本书第7章。

本书第8章是与软件实现相关的计算机操作系统的操作和软件集成环境及调试方法的介绍。在此章中首先介绍了DOS常用命令和Windows的主要设置，重点给出了四种平台上的软件实现环境及使用说明。基于此，可以实现软件的编辑、编译、链接及运行，直到软件产品的生成。此外，一些软件开发所需的基本知识作为附录放在了本书的最后部分。

值得一提的是，本书还尝试将我国的一些优秀传统文化与计算机编程内容相结合，以期使读者在学习计算机软件开发的同时感到生动有趣，激发学习兴趣，拓宽知识面，转换思维方式。

总之，用计算机解决问题涉及内容较多，本书使解决问题的思路与书的内容安排相一致，同时在书中融入了作者多年来用计算机完成项目的部分成果。因此，本书既可作为本科生计算机类课程的基础教材，也可作为专业人员的参考书，同时还可作为非计算机专业学生学习计算机编程的教材。

温馨提示

本书可按不同的课时选取不同章节内容学习：

- (1) 第1~8章对应于程序设计与软件开发课。
- (2) 第1~4章和第7~8章对应于计算机导论与程序设计课(学校公共大类基础课)。
- (3) 第2章和第5~7章对应于算法设计与软件开发课。

本书由王俊平主编。第1~3章由王俊平编写，第4~7章由王俊平、孙德春、李勇、郭佳佳、梁刚明、胡静编写；第8章和附录由沈中编写；孙德春、万波参与了本书的内容组织。全书由王俊平统稿。在编写过程中我们还得到了西安电子科技大学许多同事的关心和指导，2015级、2016级和2017级的许多同学对于本书的应用成果研发付出了辛勤的劳动，还有王文瑞、李艳波、张亚琼、高兆华等参与了本书的校对及部分程序的调试，在此一并表示诚挚的谢意。

本书在编写过程中参考了有关图书和资料，在此向其作者表示由衷的感谢。由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请读者指正。

编者
2018-9-6

目 录

第 1 章 认知计算机	1	2.7 递归和迭代算法	33
1.1 计算机的硬件组成及工作原理	1	本章小结	34
1.1.1 计算机的硬件组成	1	练习题	34
1.1.2 计算机的工作原理	3	第 3 章 计算机语言与 C 语言基础	35
1.2 计算机的存储器	4	3.1 计算机语言及其特点	35
1.2.1 计算机存储器的作用	4	3.1.1 机器语言及其程序特点	35
1.2.2 计算机存储器的操作	5	3.1.2 汇编语言及其程序特点	36
1.2.3 计算机存储器的分类	5	3.1.3 高级语言及其程序特点	37
1.2.4 计算机内存存储器的编址	6	3.1.4 C 语言程序及其特点	38
1.2.5 存储器存储数的范围	7	3.2 C 语言要素	39
1.3 计算机软件	8	3.2.1 标识符和关键字	39
1.3.1 软件的应用及发展	8	3.2.2 数据类型、常量和变量	40
1.3.2 软件的分类与特点	9	3.2.3 运算符、表达式、语句及函数	41
1.3.3 软件编程语言概述	10	3.2.4 函数、文件、编译预处理命令及 数据的输入/输出	42
本章小结	10	3.2.5 C 语言程序举例	43
练习题	10	3.3 C 语言的数据类型	44
第 2 章 算法基础	12	3.3.1 C 语言提供的数据类型—— 基本类型	45
2.1 算法定义及其性质	12	3.3.2 C 语言提供的数据类型—— 指针类型	46
2.1.1 算法的非正式定义	12	3.3.3 C 语言提供的构造类型—— 数组	47
2.1.2 算法的正式定义及性质	14	3.3.4 C 语言提供的构造类型—— 结构体类型	49
2.2 算法的表示	15	3.4 C 语言运算符及表达式	52
2.2.1 算法的三种结构	15	3.4.1 C 语言算术和赋值运算符	53
2.2.2 描述算法的工具	16	3.4.2 C 语言的关系运算符、逻辑运算符和 位运算符	54
2.3 基础算法	19	3.4.3 C 语言的条件、逗号和类型 运算符	56
2.3.1 求和与求积算法	19	3.4.4 C 语言的 1 级运算符及应用 举例	58
2.3.2 求最大值和求最小值算法	20	3.5 语句	59
2.4 子算法及举例	22		
2.4.1 子算法提出的依据	22		
2.4.2 子算法举例	23		
2.5 三种排序算法	24		
2.5.1 选择排序	24		
2.5.2 冒泡排序	26		
2.5.3 插入排序	28		
2.6 顺序查找和二分查找算法	30		

3.5.1 C 语言中的分支语句	59	5.2.3 栈的链式表示和实现	136
3.5.2 C 语言中的循环语句	62	5.2.4 栈的应用	141
3.5.3 C 语言中的 break 语句和 continue 语句	67	5.3 队列	143
本章小结	70	5.3.1 队列的逻辑定义和运算	143
练习题	70	5.3.2 顺序队列的实现和运算	144
第 4 章 C 语言函数与文件的程序设计	72	5.3.3 队列的链式表示和实现	148
4.1 C 语言函数	72	5.3.4 队列的应用	152
4.1.1 C 语言程序的结构	73	5.4 综合应用	155
4.1.2 C 语言函数的定义、调用及声明	73	本章小结	159
4.1.3 C 语言函数间的通信	77	练习题	159
4.1.4 变量特性与 C 语言函数	80	第 6 章 非线性数据结构	161
4.2 C 语言常用的库函数	82	6.1 二叉树数据结构	161
4.2.1 输入/输出库函数	82	6.1.1 树与二叉树的定义	161
4.2.2 与字符串相关的库函数	85	6.1.2 二叉树的存储结构与建立	163
4.2.3 内存空间申请与释放的库函数	87	6.1.3 二叉树的遍历	165
4.2.4 应用举例	90	6.1.4 哈夫曼树	168
4.3 C 语言的构造类型	92	6.1.5 二叉排序树	172
4.3.1 共用体类型	93	6.2 图的数据结构	175
4.3.2 枚举类型	95	6.2.1 图的基本定义	175
4.3.3 位段类型	96	6.2.2 图的存储结构	176
4.3.4 共用体、枚举和位段举例	97	6.2.3 图的遍历	180
4.4 文件	99	6.2.4 最短路径算法	184
4.4.1 文件概述	99	6.3 超图	186
4.4.2 关于文件的函数	101	6.3.1 超图的基本定义	186
4.4.3 编程设计举例	104	6.3.2 超图的存储结构	187
4.4.4 综合编程实例	106	6.3.3 超图的应用	187
本章小结	110	本章小结	189
练习题	110	练习题	189
第 5 章 线性数据结构	112	第 7 章 基于 C 语言的软件开发过程	191
5.1 线性表	112	7.1 软件工程概论	191
5.1.1 线性表的逻辑定义和运算	112	7.1.1 软件工程的引入	191
5.1.2 线性表的顺序存储和运算	113	7.1.2 软件产品质量	192
5.1.3 线性表的链式表示和实现	116	7.1.3 软件生命周期	193
5.1.4 线性表的应用	128	7.1.4 软件的开发模型	194
5.2 栈	131	7.2 软件需求分析	196
5.2.1 栈的逻辑定义和运算	132	7.2.1 软件需求分析概述	196
5.2.2 栈的顺序存储	133	7.2.2 结构化需求分析方法	197
		7.2.3 需求说明文档	199

7.2.4 项目案例分析.....	199	8.2 DOS 系统及主要命令.....	219
7.3 软件设计与实现.....	201	8.2.1 DOS 文件的命名.....	219
7.3.1 概要设计.....	201	8.2.2 常见的 DOS 命令.....	219
7.3.2 详细设计.....	202	8.2.3 DOS 命令使用举例.....	221
7.3.3 编码实现.....	203	8.3 编程环境及程序调试.....	223
7.3.4 示例分析.....	205	8.3.1 认识编程环境.....	223
7.4 软件测试.....	206	8.3.2 Visual C++ 6.0 概述.....	223
7.4.1 软件测试基础.....	206	8.3.3 Code Blocks 环境.....	229
7.4.2 黑盒测试.....	207	8.3.4 Visual Studio 2010 环境.....	235
7.4.3 白盒测试.....	208	8.3.5 Dev-C++环境.....	240
7.4.4 单元测试、集成测试、系统 测试和验收测试.....	211	附录一 进制转换.....	246
7.4.5 项目案例分析.....	213	附录二 原码、补码及反码.....	248
本章小结.....	214	附录三 字节序.....	249
练习题.....	214	附录四 ASCII 码表.....	250
第 8 章 认识操作系统及编程环境.....	215	附录五 C 语言的 32 个关键字.....	252
8.1 Windows 系统及其基本操作.....	215	附录六 C 常用转义字符.....	253
8.1.1 Windows 系统的发展.....	215	附录七 C 常用控制字符.....	254
8.1.2 Windows 系统的技术特点.....	216	附录八 C 常用库函数表.....	255
8.1.3 Windows 系统的设置及维护.....	216	参考文献.....	262

第1章 认知计算机



学习目标

计算机系统由软件系统和硬件系统组成。随着微电子技术和软件技术的不断发展,计算机系统也得以不断发展且被广泛应用。作为计算机的软件设计人员,需了解计算机系统的组成,明确计算机存储器的特性。尽管计算机系统涉及的内容很多,为了便于学习程序设计与软件开发,本章仅对与其相关的计算机系统知识予以阐述。

1.1 计算机的硬件组成及工作原理

计算机的硬件是指计算机的物理实体,即物理设备的总称。多年来,计算机硬件的发展基本上遵循摩尔定律。摩尔定律由英特尔(Intel)名誉董事长戈登·摩尔(Gordon Moore)发现,它是指集成电路上可容纳的晶体管数目,约每隔 18 个月便会增加一倍,性能也将提升一倍。戈登·摩尔与摩尔定律的图片如图 1.1 所示。



图 1.1 戈登·摩尔与摩尔定律的图片

1.1.1 计算机的硬件组成

以计算机硬件作为物质基础,依据图 1.2 所示的计算机之父冯·诺依曼提出的存储程序概念和在计算机中采用二进制的计算机体系结构,就可形成各种类型的计算机系统。尽管计算机系统各不相同,但是都与高级语言编程相关。计算机的硬件分为五大部件,这也是基于冯·诺依曼计算机系统中对于硬件的分法。

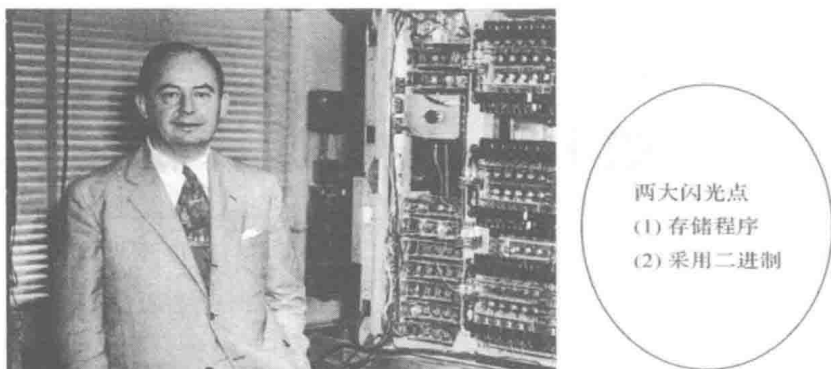


图 1.2 冯·诺依曼的照片及计算机体系结构特点

基于冯·诺依曼计算机系统体系结构，计算机的硬件由控制器、运算器、存储器、输入设备及输出设备组成。其各部分功能如下：

控制器：就像人的大脑一样，它控制计算机中的所有操作。

运算器：负责各种各样的运算，主要包括算术运算和逻辑运算。从问题的角度上讲，计算机解决的问题千变万化，但是这些问题在计算机上实现时最终都转化为算术运算和逻辑运算。

存储器：是程序和数据的载体，要处理的程序和数据需要放在存储器中。

输入设备：能够将程序和数据输入到计算机中。键盘、鼠标均为输入设备。

输出设备：输出计算机在运行中产生的数据。显示器、投影仪和打印机等均为输出设备。

计算机的硬件组成如图 1.3 所示，五大部件和软件系统相互配合，解决了各种各样的问题。

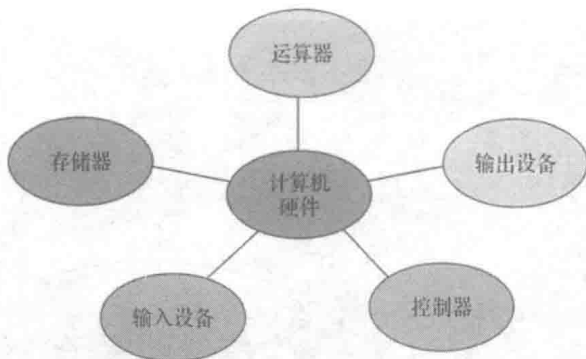


图 1.3 计算机的硬件组成

上述计算机的五大部件中，运算器和控制器合称为计算机的中央处理单元(CPU)，如图 1.4 所示。在实际的计算机系统中，不同类型 CPU 有不同的指令系统，计算机解决问题时，程序设计人员编写的程序最终通过指令系统即指令的执行解决问题。

同时，CPU 也是体现计算机计算能力的核心部件，通常用字长和计算速度来衡量其性能。字长越长、计算速度越快，则 CPU 的性能越好。字长和计算速度的定义如下：

字长是指 CPU 同时处理数据的二进制位数，如微机中字长有 16 位、32 位、64 位等。运算速度是指 CPU 每秒执行加法指令的数目，单位是 MIPS，即每秒处理的百万级指令数。

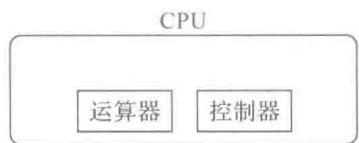


图 1.4 计算机的中央处理单元

另外，在上述计算机的五大部件中，存储器又分为内存和外存，CPU 只能直接存取内存的信息，外存只有调到内存才能和 CPU 进行信息交换。

除了上述硬件外，CPU、存储器和输入输出设备间还需要通过公共信号线——总线来传递信息。根据总线传送信息的类型不同，总线通常分为地址总线、控制总线和数据总线，它们分别用于传送地址、控制指令和数据信息。总线的性能指标通过总线宽度、总线数据传送速率和总线工作频率来体现。总线宽度是指总线的数量，用位表示如 8 位、32 位、64 位等；总线工作频率是总线工作快慢的重要参数；总线宽度乘以总线工作频率就是总线数据传送速率，表示每秒总线上传送的最多字节数。

1.1.2 计算机的工作原理

计算机的工作过程实质上是指令的执行过程。计算机中的指令是二进制代码的组合，一般指令的格式如图 1.5 所示。由图 1.5 可见，指令通常由操作码和操作数组成，其中操作码规定了指令的功能，操作数是 CPU 执行该功能所需要的数据。在有些指令中，操作数部分可以缺省。多条指令则构成了 CPU 的指令系统，指令系统中的每一条指令执行过程如图 1.6 所示。

计算机解决问题时，需要程序设计人员编写好程序，然后将程序转化为一系列指令。CPU 对这些指令的执行过程就是如图 1.6 所示的取指令、分析指令、执行指令的不断重复过程，直到解决问题对应的所有指令执行完毕为止。值得注意的是，在重复过程中，图 1.6 描述的程序计数器的变化确保了不同指令的顺利执行，而程序计数器是一般 CPU 的必要组成部分。



图 1.5 计算机中的指令格式

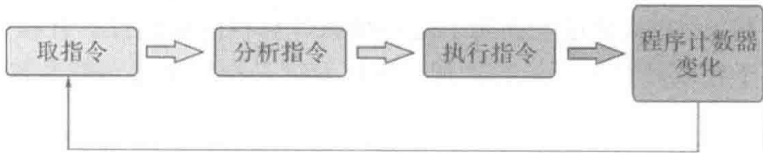


图 1.6 指令的执行流程

下面假定程序设计人员已经编好程序并且已经将其成功转化为可以执行的指令序列。那么进一步地，结合 1.1.1 小节中介绍的计算机的五大硬件，来看已编好的程序如何在计算机中执行，以明确计算机的工作原理。

计算机的工作原理示意图如图 1.7 所示，其工作过程由以下步骤组成：
第一步，在控制器的作用下，利用输入设备将程序/数据输入到计算机中，存储在内存存储器上；

第二步，从内存存储器上取指令到控制器，进行分析、识别并发出命令；

第三步，在控制器的作用下，从内存存储器上取数据到运算器进行运算，将运算结果存在内存存储器，或者输出到输出设备；

第四步，在控制器作用下，由输出设备输出结果。不断重复第二到第四步直到程序运行完所有指令为止。

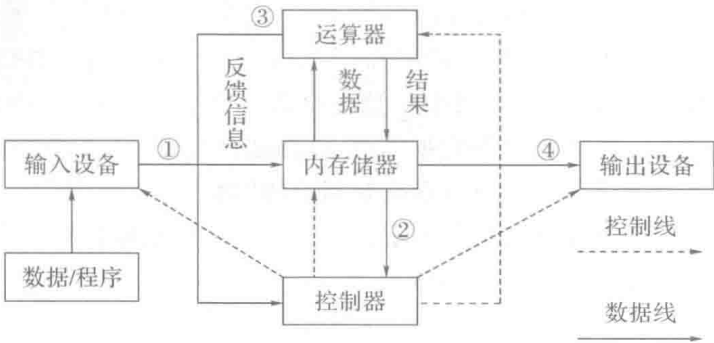


图 1.7 计算机工作原理图

1.2 计算机的存储器

1.2.1 计算机存储器的作用

在讨论计算机存储器的作用之前，有必要先了解一下可计算性和图灵机模型。

数学上，可计算性是函数的一个特性。定义域为 D 和值域为 R 的函数 f 有一个确定的对应关系，通过这个对应关系使 R 范围的单个元素 $f(x)$ 和 D 定义域的每个元素 x 相联系。如果存在这样一种算法，给定 D 中的任意的 x ，就能给出 $f(x)$ 的值，就称函数 f 是可计算的。

在计算机中，可计算性是把复杂问题分解为一个个可操作的解题步骤，经过分步计算，最后得出结果。能够这样“在有限步骤内解决的问题”，就称该问题是可计算的，否则就是非可计算的。

为了判断问题的可计算性，图灵提出了如图 1.8 所示的逻辑上的计算模型（也称为图灵模型或者图灵机），并从理论上证明了这种抽象计算机的可能性。在模型中，程序是指令的集合，它用于控制计算机所做的处理；输出数据是程序和输入数据共同作用的结果。

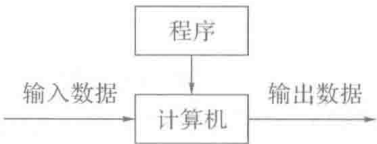


图 1.8 可编程数据处理器

图灵机由逻辑上的控制器、传送带和读写头三个部分构成；控制器内部存储着有限个状态程序，包括初始状态、终止状态等，并可对读写头发出的指令进行控制；传送带是无限长的带子，带子有单元格，单元格上可以写上特定的符号，也可以是空白的；读写头可以在传送带上读符号、改写符号、左移和右移。

图灵机可以表示为一个五元组 $(K, \Sigma, \delta, s, H)$ ，其中：

K 是有穷（有限）个状态的集合；

Σ 是字母表，即符号的集合；

$s \in K$ ，是初始状态；

$H \in K$ ，是停机状态的集合，当控制器内部状态为停机状态时图灵机结束计算；

δ 是转移函数，即控制器的规则集合。

图灵机的计算就是由控制器控制执行的一系列动作，其计算结果可从图灵机停止时传送带上的信息得到。实际上，只要提供合适的程序，这样的图灵机能做任何可以计算的计算。这样的图灵机也是对现代计算机在逻辑上的首次描述。

基于以上的图灵机模型实现的物理计算机中，存储器是用于存储数据的。在 1944—1945 年期间，冯·诺依曼指出，程序和数据在逻辑上是相同的，因此程序也可以和数据一样存储在存储器中。因此，在现代的计算机体系中，存储器相当于图灵机中的传送带，不仅存储数据，而且存储程序。

由此可见，计算机存储器的作用就是存储程序和数据。计算机系统加电后，设计好的程序和数据存储在存储器中，随后程序就可以运行了。另外，为了计算机处理结果的安全性并考虑到物理实现上的方便性，现代计算机系统中存储器有两种状态，分别对应数字 0 和 1，而 0 和 1 恰好是二进制计数系统中采用的两种符号，这也就是计算机系统中采用二进制的原因。

1.2.2 计算机存储器的操作

我们已经知道计算机存储器是用于存储信息的，那么程序设计人员如何在存储器中保存信息呢？存储器的操作有写(存)和读(取)：将信息保存到存储器中称之为写(Write)或者存操作，在存储器中查看信息称之为读(Read)或者取操作。

存储器的读写操作类似于对教室中灯管的操作过程。我们知道灯的状态有两种：亮和灭。规定亮时代表 1，灭时代表 0。那么不管灯原来的状态是什么，将灯的状态置为亮，这就相当于对存储器写 1 的操作；同理，不管灯原来的状态是什么，将灯的状态置为灭，这就相当于对存储器写 0 的操作。而如果我们只是查看灯当前的状态，这就相当于对存储器进行读操作，灯亮则读到 1，灯灭则读到 0。

1.2.3 计算机存储器的分类

为了在程序中正确引用存储器的信息，有必要学习存储器的分类。

存储器分为两类：内存储器(也称内存、主存)和外存储器(也称外存、辅助存储器)。

内存的存取速度快，容量小，价格贵，通常主要存储正在运行中的程序和数据。有些内存储器的状态及存储的信息在计算机系统运行期间是不可改变的，这一类存储器称为只读存储器(Read Only Memory, ROM)；其特点是断电后所存储的信息不变，因此可用于存储系统启动程序等。有些存储器的状态可以变化，这一类存储器称为随机存取存储器(Random Access Memory, RAM)；其重要特点是在计算机系统运行结束电源关闭后，其存储的信息就消失了。

和内存相比较，外存的存取速度更慢，容量更大，价格更便宜，系统断电后外存上的信息不变。我们经常使用的 u 盘，以及计算机系统中经常分区的 c 盘、d 盘等就属于外存。值得注意的是，在 Windows 操作系统下的微型计算机系统中，经常看到的文件信息就是外存上存储的信息。

存储器的分类及其所存储信息的类别如图 1.9 所示。

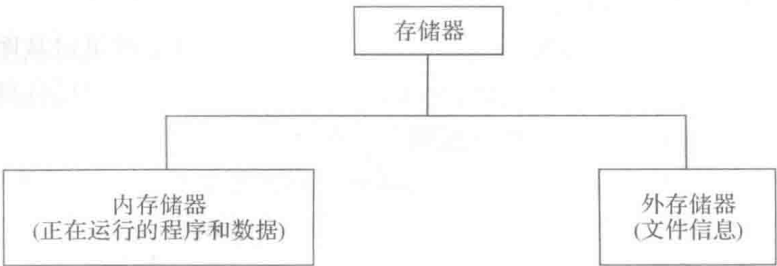


图 1.9 存储器的分类及其所存储信息的类别

1.2.4 计算机内存储器的编址

存储器是用来存储信息的，那么内存储器所存信息的单位和大小及其地址是什么呢？下面就回答这个问题。

- (1) 位(bit): 是存储器存储信息的最小单位，其所存储的信息是 0 或者 1。
- (2) 字节(Byte): 定义 8 位(8 bit)为一个字节(1 B)。
- (3) 在计算机系统中，内存容量以字节为单位表示，有千字节(KB)、兆字节(MB)、吉字节(GB)、太字节(TB)，它们之间存在以下关系：

$1\text{ TB} = 1024\text{ GB}, 1\text{ GB} = 1024\text{ MB}, 1\text{ MB} = 1024\text{ KB}, 1\text{ KB} = 1024\text{ B}$

- (4) 内存储器的地址：内存储器按照字节编址，其编址方式为一维线性的编址形式。
- 一般地，计算机系统中内存的最小编址为 0，然后是 1, 2, 3, 4, …，直到内存的最大容量减 1。如内存容量为 8 个字节，其地址就为 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7，如表 1-1 所示。

表 1-1 内存容量与编址

地址	内存单元中存储的数据							
0	0	0	1	1	1	1	0	1
1	0	0	1	1	1	1	0	1
2	0	0	1	1	1	1	0	1
3	0	0	1	1	1	1	0	1
4	0	0	1	1	1	1	0	1
5	0	0	1	1	1	1	0	1
6	0	0	1	1	1	1	0	1
7	0	0	1	1	1	1	0	1

内存的编址,就像教室的编号一样,如表 1-2 所示为部分教室的编号。有了编号后,如通知学生在 A 楼 102 教室上课,那么到上课时间大家会去找该教室上课。实际上编号普遍存在,如宿舍编号、酒店房间编号、车辆牌照编号等。

表 1-2 教室房间编号

A101	A102	A103	A104	A105	A106
教室	教室	教室	教室	教室	教室

(5) 在程序设计中,通过名字来引用内存的内容。如我们想给表 1-3 中的地址 0005 的存储器存入 01100101 时,是通过与该单元对应的名字 X 来存的。这是因为我们在编程时,正在编写的程序还没有运行,因此无法知道程序与数据存在内存中的哪个地址对应的存储空间里,也就无法知道这些内存空间的地址值。

表 1-3 内存的地址及内容引用

单元名字	地址	存 储 内 容							
X	0005	0	1	1	0	0	1	0	1
Y	0006	1	1	1	0	0	0	1	1
Sum	0007	1	0	0	0	0	0	0	0
Y	0008	0	0	0	0	0	0	1	0

1.2.5 存储器存储数的范围

为了便于理解,下面我们以整数为例说明存储器中存储数字的范围。明显地,存储器中的一位有两种状态:0 和 1;两位则有四种状态:当第一位第二位看成数据位时,其表示数的范围为 0、1、2、3,如表 1-4 所示;当第一位第二位看成补码时,其表示的数的范围为 0、1、-1、-2,如表 1-5 所示。内存位数更多时,可以以此类推以确定其中所存储的数字的范围。关于数制转换及补码的相关知识可参见附录一和附录二。

表 1-4 两位存储器中存储的数字及其对应的十进制数

第一位(数据位)	第二位(数据位)	十进制数
0	0	0
0	1	1
1	0	2
1	1	3

表 1-5 两位存储器按补码存储的数

第一位(符号位)	第二位(数据位)	十进制数
0	0	0
0	1	1
1	0	-2
1	1	-1

同理，十六位的存储单元存储不带符号的数的范围从 $0\sim 2^{16}-1$ ，存储带符号数的范围为 $-2^{15}\sim -2^{15}-1$ ，如表 1-6 所示。在表 1-6 中，从左到右第 1 列~第 4 列为 16 位内存单元存储的数，第 5 列为将存储单元所存的数看成带符号数时对应的十进制数，第 6 列为将存储单元所存的数看成不带符号的数时对应的十进制数。

表 1-6 十六位存储单元存数及其对应的十进制数的范围

高四位	次高四位	次低四位	低四位	带符号的十进制数 (补码)	不带符号的十进制数 (最高位为数据位)
0000	0000	0000	0000	0	0
0000	0000	0000	0001	1	1
...	...	...	...	...	...
0111	1111	1111	1111	$2^{15}-1$ (32 767)	$2^{15}-1$
1000	0000	0000	0000	-2^{15} (-32 768)	2^{15}
...	...	...	...	...	...
1111	1111	1111	1110	-2	$2^{16}-2$
1111	1111	1111	1111	-1	$2^{16}-1$

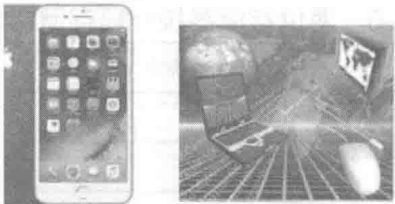
可以看出，由于计算机系统中内存位数的有限性，导致了计算机能处理的数的范围的有限性。作为编程人员，在运用计算机解决实际问题时，应学会根据问题的规模选择合适大小的存储单元，从而使系统资源得到合理有效的使用。至于在程序设计中如何选取合适大小的存储空间，我们将在后续程序设计部分继续讨论。

1.3 计算机软件

在计算机系统中，硬件确定后，软件就确定了系统的性能和质量。随着硬件发展受到摩尔定律的限制，软件在计算机系统中的价值所占的比重越来越大，因此作为软件开发人员应明确软件的相关质量度量指标，以便于开发出高质量的软件。

1.3.1 软件的应用及发展

软件的应用领域越来越广泛。图 1.10(a)和图 1.10(b) 中示出了软件的几个应用案例。图 1.10(a)所示是软件在移动终端领域的应用，图 1.10(b)所示是软件在各种电脑上的使用。实际上，随着计算机硬件后摩尔时代的到来，社会对软件的需求量越来越大。



(a) 手机 (b) 计算机系统

图 1.10 软件的应用

1.3.2 软件的分类与特点

软件的应用多种多样，但是从程序设计角度看，软件可以用以下概念来定义：按照特定顺序组织的计算机数据、程序和文档资料的集合，即

数据+程序+文档=软件

对于特定的计算机系统，当硬件确定后，软件的不同可以完成不同的任务。程序设计与软件开发的主要目标，就是设计并实现不同的软件。为了有效地进行软件开发，有必要了解软硬件的层次关系，也就是计算机的体系结构。计算机的体系结构如图 1.11 所示，在图中，除了裸机和用户外其他部分即为软件。

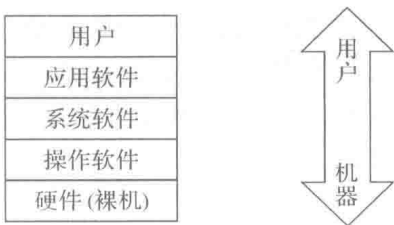


图 1.11 计算机的体系结构

1. 软件的分类

由软件在计算机系统中所起的作用划分，软件分为系统软件和应用软件。

系统软件中最重要的是操作系统。操作系统是加在硬件(裸机)上的第一层软件，它对硬件进行直接的管理。操作系统软件和其他系统软件一起对应用程序提供接口，以便于系统软件和应用软件的开发。成功开发操作系统软件的优秀代表当属比尔·盖茨(Bill Gates，见图 1.12)。他 31 岁就凭借开发的操作系统软件——磁盘操作系统(Disk Operating System)成为世界首富，而后又成功开发了 Windows 操作系统。在 2017 胡润全球富豪榜发布中，比尔·盖茨以 5600 亿元财富蝉联世界首富。关于操作系统软件 DOS 和 Windows 7 的基本操作见第 8 章。

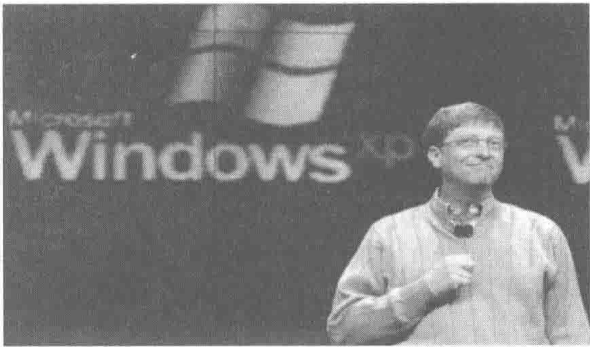


图 1.12 开发操作系统软件的代表人物

应用软件是基于应用需求和系统软件的支持而开发的各种各样的软件，如办公处理软件 office、qq 软件、邮件收发软件 foxmail、手机上的各种 app 软件、美图秀秀软件，等等。

2. 软件的特点

由软件的定义可以看出，软件是一些程序、数据、文档资料的集合，通常软件的程序