全国电子信息优秀教材
普通高等教育“十三五”规划教材
新工科建设之路·计算机类规划教材

大学 C/C++语言程序设计基础

（第3版）

阳小华　李晓昀　马淑萍　主　编
刘志明　主　审

電子工業出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书在第 2 版的基础上修订而成，以计算思维为主线重新组织内容，同时强调掌握科学计算工具和培养科学计算能力对理工类学生的重要性。在绪论中介绍了当今计算机前沿技术，如大数据、云计算与边缘计算、人工智能、信息检索等相关内容；增加了计算机系统的组成、工作原理、存储机制、数制、编码、信息数字化等学习程序设计的先导知识。全书系统介绍了 C/C++语言及科学计算软件 MATLAB 的基本概念和语法规则。

全书共 12 章，主要内容包括：绪论、C 语言与 MATLAB 基础、数据的输入/输出、选择结构程序设计、循环结构程序设计、函数与编译预处理、数组、指针、构造数据类型、文件、C++面向对象程序设计基础、C/C++与 MATLAB 混合编程。附录中列出了 C 语言常用库函数和 MATLAB 函数表。本书还设计了丰富的实例，以增强内容的实用性和可读性，提高学生的编程兴趣。本书兼顾全国计算机等级考试的要求。为方便教学，本书配有电子课件和相关程序源代码，任课教师可以登录华信教育资源网（www.hxedu.com.cn）免费注册下载。

本书可作为高等学校理工类非计算机专业的程序设计教材，也可作为全国计算机等级考试的辅助教材，还可供程序设计爱好者参考。

图书在版编目（CIP）数据

大学 C/C++语言程序设计基础/阳小华，李晓昀，马淑萍主编. —3 版. —北京：电子工业出版社，2019.9
ISBN 978-7-121-37075-5

Ⅰ. ①大… Ⅱ. ①阳… ②李… ③马… Ⅲ. ①C 语言—程序设计—高等学校—教材 Ⅳ. ①TP312.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2019）第 144521 号

责任编辑：戴晨辰
印　　刷：
装　　订：
出版发行：电子工业出版社
　　北京市海淀区万寿路 173 信箱　　邮编：100036
开　　本：787×1092　1/16　　印张：22.5　字数：590.4 千字
版　　次：2011 年 3 月第 1 版
　　2019 年 9 月第 3 版
印　　次：2019 年 9 月第 1 次印刷
定　　价：59.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：(010) 88254888，88258888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式：dcc@phei.com.cn。

前　言

为了把“计算思维能力的培养”作为计算机基础教育的核心任务，本书在第 2 版的基础上进行完善，内容更加与时俱进，介绍了当今计算机前沿技术，如大数据、云计算与边缘计算、人工智能、信息检索等相关内容；增加了计算机系统的组成、工作原理、存储机制、数制、编码、信息数字化等学习程序设计的先导知识。全书系统地介绍了 C/C++语言及科学计算软件 MATLAB 的基本概念和语法规则。

C/C++语言是学习程序设计的第一门语言和专业必修的编程语言，不仅因为其结构严谨、数据类型完整、语句简练灵活、运算符丰富，更因为很多高级语言都是在它的基础上发展起来的。学好 C/C++语言对于开发底层程序及高效的程序都很有帮助。

鉴于理工类学生在本科的学习及今后的工作中会大量使用运算，其中包括矩阵运算、曲线拟合、数据分析等，因此本书除讲解传统 C/C++语言程序设计外，还介绍了代表当今科学计算软件先进水平的 MATLAB 软件，并增加了工程计算实例，让读者通过 C/C++语言编程对这类大型软件中的某些功能进行实现，旨在提醒学生掌握科学计算工具和培养科学计算能力的重要性。

开设 C/C++语言程序设计课程的目的不是单纯教会学生利用一种计算机语言编程，而是使学生了解信息技术的发展现状，学会信息资源的获取及筛选方法；使学生学会利用计算机程序设计来进行问题求解，学会使用科学的计算工具，具备科学的计算能力，进行数据分析和数据处理；培养学生的计算思维能力、严谨的工作作风和团队合作精神；提高学生对专业领域技术问题的理解，提高归纳总结和提出问题的能力，为进一步的专业学习、自主学习和终身学习打下基础。

全书共 12 章，主要内容包括：绪论、C 语言与 MATLAB 基础、数据的输入/输出、选择结构程序设计、循环结构程序设计、函数与编译预处理、数组、指针、构造数据类型、文件、C++面向对象程序设计基础、C/C++与 MATLAB 混合编程。附录中列出了 C 语言常用库函数和 MATLAB 函数表。

本书在编写时兼顾了全国计算机等级考试的要求。书中例题丰富，注重实用性。

本书与《大学 C/C++语言程序设计实验教程》（第 3 版）（阳小华、邹腊梅、胡义香主编，电子工业出版社出版，ISBN 978-7-121-37074-8）配套使用。为方便教师教学和学生学习，本书提供电子课件和程序源代码，读者可以登录华信教育资源网（www. hxedu.com.cn）免费注册下载。

本书由阳小华、李晓昀、马淑萍主编；全书由刘志明主审；邹腊梅、胡义香、熊东平、汪凤麟参加了本书的编写。由于编写时间仓促，加之作者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，恳请各位读者和专家批评指正，以便再版时及时修正。

编　者

目　录

第1章 绪　　论

1.1 计算机前沿技术

1.1.1 大数据

IT 行业的又一次技术变革，大数据的浪潮汹涌而至，对国家治理、企业决策和个人生活产生深远影响，并将成为继云计算、物联网之后信息技术产业领域又一重大创新变革。未来的十年将是一个“大数据”引领的智慧科技时代。随着社交网络的逐渐成熟，移动带宽的升级，云计算、物联网应用更加丰富，更多的传感设备、移动终端接入网络，由此而产生的数据将比历史上的任何时期都要多，增长速度也将比历史上的任何时期都要快。

1．大数据的概念

大数据（Big Data）是一个涵盖多种技术的概念，简单地说，大数据是指无法在一定时间内用常规软件工具对其内容进行抓取、管理和处理的数据集合。

2．大数据的特征

IBM 将大数据理念定义为 4 个 V，即大量化（Volume）、多样性（Variety）、速度快（Velocity）及由此产生的价值（Value）。

（1）大量化（Volume）

“大”是指数据规模，大数据体量一般都达到了 PB 量级以上。1PB 等于 1024TB，1TB 等于 1024GB，那么 1PB 等于 1024×1024GB。关于数据容量的计算请读者参考本书 1.2.1 节相关内容。

（2）多样性（Variety）

网络中单一用户提交的数据缺乏价值，不能称为大数据。但多用户乃至海量用户数据中（年龄、学历、爱好、性格等），每个人的特征都不一样，这也就是大数据的多样性。地域和时间范围越大，多源异构数据的多样性就会越强，每个地区、每个时段，都会存在各种各样的数据，如文本、图片、音频、视频、机器数据（地理位置信息、网络日志）等。

（3）速度快（Velocity）

对“速度快”的理解可分为两方面：

一方面是数据的产生速度快，物联网、云计算、移动互联网、车联网、手机、平板电脑、PC，以及遍布地球各个角落的各种各样的传感器，无一不是数据的来源或者承载方式；

另一方面是数据的处理速度快，数据处理遵循“1 秒定律”（或秒级定律），一般要在秒级时间范围内通过算法对各种类型的数据进行处理并给出分析结果，获得高价值的数据信息，这也是“1 秒定律”与传统的数据挖掘技术的本质区别。

（4）价值（Value）

大数据的价值体现需要根据业务逻辑，通过强大的机器算法迅速地完成数据的价值“提纯”。假如有 1PB 以上 20～35 岁年轻人的上网数据，通过分析这些数据，可以建立用户兴趣模型，指导产品的设计、营销等。如果有几百万病人的数据，根据这些数据进行分析，就能预测疾病的发生，这些都体现了大数据的价值。

3．大数据的应用

（1）落地行业应用

大数据无处不在，其广泛应用于制造、金融、医疗、汽车、广告、电信、能源、餐饮和娱乐等各个领域。例如，在制造领域，可利用工业大数据提升制造业水平，包括实现产品故障诊断与预测、分析工艺流程、改进生产工艺、优化生产过程能耗、工业供应链分析与优化、生产计划与排程等；在金融领域，大数据在高频交易、社交情绪分析和信贷风险分析三大金融创新领域发挥重大作用；在汽车领域，利用大数据和物联网技术设计的无人驾驶汽车，在不远的将来或将走入我们的日常生活；在广告领域，借助大数据技术，可以分析客户行为，进行商品个性化推荐和针对性广告投放。

（2）提高决策能力

基于大数据的决策信息完整性越来越高，理性决策越来越广泛，决策的技术含量和知识含量大幅提高，实现了很多过去难以想象的重大解决方案。

宏观层面，大数据使经济决策部门可以更敏锐地把握经济走向，制定并实施科学的经济政策；微观方面，大数据可以提高企业经营决策水平和效率，推动创新，给企业、行业带来价值。

（3）优化资源配置

个人根据大数据可以选择适合自己的工作、舒适的居住条件、便利的出行方式等；企业依据大数据可以选择自己的生产经营方向，精细化分工，为客户量身定做产品，实现利益最大化；政府管理部门依据大数据可以调配公共资源，构建健康发展的和谐社会。

1.1.2 云计算与边缘计算

至今，云计算技术广泛应用，随着 5G 的到来，物联网应用的爆发，边缘计算可解决工业物联网的实际业务困难，受到业界越来越多的关注。

1．云计算

云计算中的“云”在某些方面具有自然界中云的特征，其体量庞大，可动态伸缩，边界模糊且飘忽不定，不好定位但确实存在。那么，到底什么是云及云计算呢？

（1）云与云计算的概念

“云”就是资源池，能够存放各种 IT 资源，无论是硬件设备还是软件平台及其应用系统，都能够存放在云中。例如，你有很多东西，家里放不下了，放到一个特定的地方保存，可随时提取，这里的“东西”可指数据、软件、服务等，而“特定的地方”就可指云。“云”也可以理解为能自我维护和管理的虚拟计算资源，通常是一些大型服务器集群，包括计算服务器、存储服务器和宽带资源等。

“云计算”是一种商业计算模型。它将计算任务分布在大量计算机构成的资源池上，使各种应用系统能够根据需要获取计算力、存储空间和信息服务。“云计算”的本质是通过网络按

需提供可动态伸缩的廉价计算服务。

云计算将计算资源集中起来，并通过专门的软件实现自动管理，无须人为参与。用户可以动态申请部分资源，支持各种应用程序的运转，无须为烦琐的细节而烦恼，能够更加专注于自己的业务，有利于提高效率、降低成本和技术创新。

云计算的核心理念是资源池，这与 2002 年就提出的网格计算池（Computing Pool）的概念非常相似。网格计算池将计算和存储资源虚拟成为一个可以任意组合分配的集合，池的规模可以动态扩展，分配给用户的处理能力可以动态回收重用。这种模式能够大大提高资源的利用率，提升平台的服务质量。

（2）云存储

云存储是根据云计算延伸出来的新概念，是指通过集群应用、网络技术或分布式文件系统等功能，将网络中各种不同的存储设备通过应用软件集合起来进行协同工作，共同对外提供数据存储和业务访问功能的一个系统。从某种意义上来说，就是一个以数据存储和管理为核心的云计算系统。

云存储是一种网上在线存储的模式，即把数据存放在通常由第三方托管的多台虚拟服务器中，而非专属的服务器中。托管（Hosting）公司运营大型的数据中心，需要数据存储托管的人通过向其购买或租赁存储空间的方式，来满足数据存储的需求。数据中心运营商根据用户的需求，在后端准备存储虚拟化的资源，并将其以存储资源池（Storage Pool）的方式提供。用户通过 Web 服务应用程序接口（API）或 Web 用户界面得到云存储服务。

目前的云存储模式主要有两种：一种是文件的大容量分享，有些存储服务提供商（Storage Services Provider，SSP）甚至号称无限容量，用户可以把数据文件保存在云存储空间中。另一种是云同步存储模式，例如，百度云盘、Dropbox、Skydrive、Google 的 GDrive，以及 Apple 的 iCloud 等 SSP 提供的云同步存储业务。

云存储具备以下三方面的优势：

① 存储管理可以实现自动化和智能化，所有的存储资源被整合到一起，用户看到的是单一存储空间；

② 可提高存储效率，通过虚拟化技术解决存储空间的浪费，可以自动重新分配数据，提高存储空间的利用率，同时具备负载均衡、故障冗余功能；

③ 能够实现规模效应和弹性扩展，降低运营成本，避免资源浪费。

（3）云服务特点

① 超大规模。“云”具有相当的规模，Google 公司的“云”已经拥上百万台服务器；IBM、亚马逊、微软、雅虎、阿里巴巴、百度和腾讯等公司的“云”均拥有几十万台服务器。“云”能赋予用户前所未有的计算能力。

② 虚拟化。云计算支持用户在任意位置，使用各种终端获取服务。所请求的资源来自“云”，而不是固定的有形的实体。应用在“云”中某处运行，但实际上用户无须了解应用运行的具体位置，只需要一台计算机、平板电脑或手机，就可以通过网络服务来获取各种能力超强的服务。

③ 高可靠性。“云”使用了数据多副本容错、计算节点同构可互换等措施来保障服务的高可靠性，使用云计算比使用本地计算机更加可靠。

④ 通用性。云计算不针对特定的应用，在“云”的支撑下可以构造出千变万化的应用，同一片“云”可以同时支撑不同的应用运行。

⑤ 高可伸缩性。“云”的规模可以动态伸缩，满足应用和用户规模增长的需要。

⑥ 按需服务。“云”是一个庞大的资源池，用户按需购买，就像使用自来水、电和煤气那样计费。

⑦ 价格低廉。“云”的特殊容错措施使得其可以采用价格低廉的节点来构成云；“云”的自动化管理使数据中心管理成本大幅降低；“云”的公用性和通用性使资源的利用率大幅提升，“云”设施可以建在电力资源丰富的地区，从而大幅降低能源成本。因此，“云”具有前所未有的性价比。

2．边缘计算

随着万物互联的泛在化发展，IDC（互联网数据中心）预计，到 2020 年全球将有超过 500 亿的终端与设备联网。为了减轻云计算的压力，也为了物联网应用场景所产生的局部、实时、短周期数据的处理与分析的需要，更好地支撑本地业务的实时智能化决策与执行，边缘计算的热度持续上升。

（1）边缘计算的概念

边缘计算是指在靠近物或数据源头的一侧，采用网络、计算、存储、应用核心能力为一体的开放平台，就近提供服务。

5G 时代，连接设备数量会大量增加，网络边缘侧会产生庞大的数据量。如果这些数据都由核心管理平台来处理，则在敏捷性、实时性、安全性和隐私性等方面都会出现问题。但采用边缘计算，就可以就近处理海量数据，大量设备可以实现高效协同工作，诸多问题将迎刃而解。

边缘计算产业联盟（ECC）针对边缘计算，定义了如下 4 个领域：

① 设备域（感知和控制层）；

② 网络域（连接和网络层）；

③ 数据域（存储和服务层）；

④ 应用域（业务和智能层）。

5G 从架构设计之初就支持边缘计算，业务处理功能依托边缘计算可下沉到基站，并对网络会话管理机制进行详细设计，边缘计算行业规范进入标准阶段。

（2）边缘计算的特点

① 低成本：边缘计算支持数据本地处理，大流量业务本地卸载可以减轻回传压力，有效降低成本。

② 低时延：移动网络数据传输时延是由空口时延（基站到终端之间的传输时延）和网络侧传输时延（基站到核心网之间的传输时延）组成的，时延的降低依赖于空口性能提升、网络侧传输距离缩短。

③ 大带宽：边缘计算平台为企业提供“私有云”托管服务，充分利用运营商网络云化特性，进一步满足大带宽需求。可通过接入运营商的优质网络，为企业提供优质的网络资源和大带宽服务。

3．云计算与边缘计算的关系

以自动驾驶为例，未来的计算模式是边缘计算与云计算的结合。边缘侧的自动驾驶专用芯片会感知传感器数据并立刻处理、决策，同时，这些处理之后的数据也会在云端汇聚，进行大数据分析、模型搭建和编辑，同时做大规模的仿真，进行深度分析和机器学习，并对边缘侧设备进行更新和升级，使边缘侧设备更智能。“算法+芯片+云计算”构成了未来自动驾驶的三大核心支点。

再以物联网为例，阿里云发布边缘计算产品 Link Edge，确实通过赋予家庭网关计算能力，实现即便是在断网的状态下，生物识别门锁、机器人等仍可正常运作。但是，如果加上云计算，基于云端的大数据分析和判断，在联动的前提下，整个家庭场景的智能设备将变得更为个性化和智能化，例如，关上门时扫地机器人就开始工作等。

由此可以看出，边缘侧设备在大数据处理、大数据存储、应用程序开发、机器学习和人工智能等方面的处理能力无法与云端相比。同时，云端的应用设计、开发、测试、部署、管理等功能是开发边缘应用的关键。

结合上面的例子可以看出，提供边缘计算能力的设备主要在前端，负责数据的实时采集、计算和处理。但是，大多数的数据并不是一次性数据，那些经过处理的数据需要在系统中进行留存，用于算法训练、数据验证等。这时就需要一个大容量的“容器”，而这个是边缘计算所没有的。在这个“容器”中，这些数据将被存储，用于大数据挖掘、算法训练、用户个性化功能塑造等，这些都是非实时需求，在完成这些操作之后将数据传输给终端设备，从而进一步提升服务质量。这个“容器”就是云计算，云计算做大数据分析挖掘、数据共享，同时进行算法模型的训练和升级，将升级后的算法推送到前端，使前端设备更新和升级，完成自主学习闭环。同时，这些数据也有备份的需要，当边缘计算过程中出现意外情况，存储在云端的数据也不会丢失。

从实际应用看，边缘计算并不能代替云计算，也离不开云计算。未来，云计算将与边缘计算形成一种互补、协同的关系，边缘计算需要与云计算通过紧密协同才能更好地满足各种应用场景的需求。边缘计算将主要负责实时、短周期数据的处理，以及本地业务的实时处理与执行，为云端提供高价值的数据；云计算通过大数据分析，负责非实时、长周期数据的处理，优化输出的业务规则或模型，下放到边缘侧，使边缘计算更好地满足本地的需求，同时完成应用的全生命周期管理。

1.1.3　人工智能

人工智能（Artificial Intelligence，AI）是研究、开发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术及应用系统的一门技术科学。

在计算机出现之前人们就幻想着有一种机器可以实现人类的思维，可以帮助人们解决问题，甚至比人类拥有更高的智力。人工智能是计算机科学的一个研究分支，是多年来计算机科学研究发展的结晶。人工智能发展到今天所涉及的学科有：哲学、认知科学、数学、神经生理学、心理学、计算机科学、信息论、控制论、不定性论等。研究的问题有：自然语言处理、知识表现、智能搜索、推理、规划、机器学习、知识获取、组合调度、感知、模式识别、逻辑程序设计软计算、不精确和不确定管理、人工生命、神经网络、复杂系统等。人工智能在以下领域应用广泛。

游戏：人工智能在国际象棋、扑克、围棋等计算机游戏中起着至关重要的作用，机器可以根据启发式知识来思考大量可能的位置并计算出最优的落子位置。

自然语言处理：人工智能可以实现人与理解人类自然语言的计算机之间的交互。如常见的机器翻译系统、人机对话系统等。大数据的产生为人工智能的发展提供了契机。如今，Google 翻译的水平已达到专家级。

大数据、云计算、边缘计算、人工智能之间相互影响、联系紧密，它们的应用将深刻影响着我们的生活和工作。

1.1.4 信息检索

所谓信息检索，就是根据用户需求与一定算法，运用特定策略，从互联网检索出指定信息并反馈给用户的一门检索技术。信息检索依托网络爬虫、检索排序、网页处理、大数据处理、自然语言处理等多种技术，为信息检索用户提供快速、高相关性的信息服务。信息检索技术的核心模块一般包括爬虫、索引、检索和排序等，同时可添加其他辅助模块。

1．信息检索方式

不同信息检索系统（如搜索引擎）所使用的检索方式不同，检索效率也不同。检索方式大致可分为 4 种，包括全文搜索引擎、元搜索引擎、垂直搜索引擎和目录搜索引擎。它们各有特点，并适用于不同的搜索环境。

① 全文搜索引擎是利用爬虫程序抓取互联网上所有相关文章予以索引的检索方式。一般网络用户适用于全文搜索引擎。这种检索方式方便、简捷，并容易获得所有相关信息。但检索到的信息过于庞杂，因此用户需要逐一浏览并选择所需信息。尤其是在用户没有明确检索意图的情况下，这种检索方式非常有效。

② 元搜索引擎是基于多个搜索引擎结果并对其进行整合处理的二次检索方式，适用于广泛、准确地收集信息。不同的全文搜索引擎由于其性能和信息反馈能力存在差异，导致其各有利弊。元搜索引擎的出现恰恰解决了这个问题，有利于各全文搜索引擎间的优势互补，而且也有利于对全文检索方式进行全局控制，引导全文搜索引擎的持续改善。

③ 垂直搜索引擎是对某一特定行业内数据进行快速检索的一种专业检索方式，适用于有明确检索意图情况下的检索。例如，用户购买机票、火车票、汽车票时，或想要浏览网络视频资源时，都可以直接选用行业内专用搜索引擎，准确、迅速地获得相关信息。

④ 目录搜索引擎是依赖人工收集处理数据并置于分类目录链接下的检索方式，这是网站内部常用的检索方式。该检索方式旨在对网站内信息进行整合处理并分目录呈现给用户，其缺点在于用户需预先了解本网站的内容，并熟悉其主要模块构成。总之，目录搜索方式的适应范围非常有限，且需要较高的人工成本来支持维护。

2．信息检索应注意的问题

随着互联网和各类智能终端的普及，信息检索逐步成为用户获取网络资源的首选方式之一。然而，目前信息检索面临以下几个问题。

① 网页时效性问题。互联网上的用户众多，数据信息来源极广，互联网上的网页是呈实时动态变化的，网页的更新、删除等变动极为频繁，有时会出现新更新的网页在爬虫程序还来不及抓取就已经被删除的情况，这将大大影响检索结果的准确性。

② 大数据存储问题。爬虫抓取的数据在经过预处理后数据量依然相当庞大，这给大数据存储技术带来相当大的挑战。当前大部分搜索引擎都是利用结构化的数据库来存储数据的，结构化的数据库存储的数据具有高共享、低冗余等特点，然而由于结构化的数据库难以并发查询，因此存在查询效率受限的问题。

③ 检索结果可靠性问题。目前由于数据挖掘技术及计算机硬件的限制使得数据处理准确度未能达到理想程度，而且有一些个人或公司会利用搜索引擎的漏洞，通过作弊手段来干扰检索结果，导致检索结果的可靠性较低。

1.2　计算机基础

1.2.1　计算机系统

一个完整的计算机系统包括计算机硬件系统和软件系统两部分。硬件是计算机系统中看得见、摸得着的物理设备，是计算机工作的物质基础。软件是在计算机中执行某种操作任务的程序及有关文档的集合，是计算机的灵魂，没有安装软件的计算机称为裸机。计算机系统组成如图 1.1 所示。

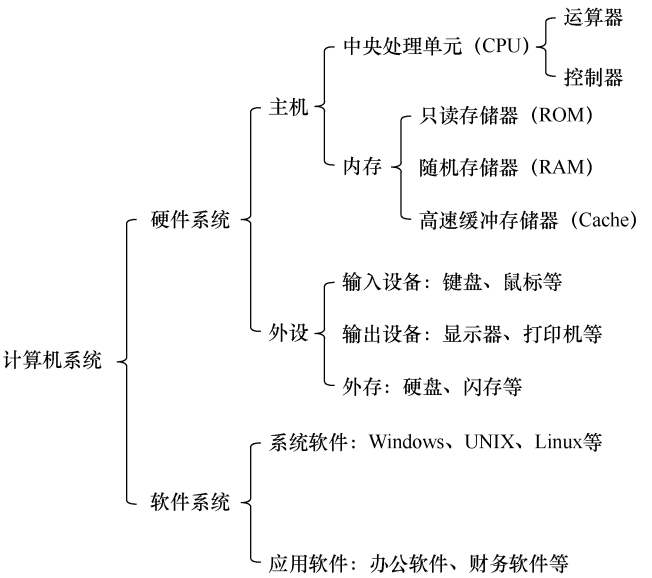


图 1.1　计算机系统组成

1．冯・诺依曼型计算机

20 世纪 40 年代，计算机界的泰斗之一美籍匈牙利数学家冯・诺依曼针对当时出现的众多能进行计算的机器，对计算机进行定义。

冯・诺依曼提出计算机应该是一个依靠“存储程序”而实现自动工作的机器。根据这一设想，他提出了计算机的 4 项重要的设计思想。

① 计算机应由 5 个基本部分组成：运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备。

② 采用存储程序的方式，程序和数据存放在同一个存储器中。

③ 指令在存储器中按执行顺序存放，由指令计数器指明要执行的指令所在的单元地址，一般按顺序递增，但可按运算结果或外界条件而改变。

④ 机器以运算器为中心，输入/输出设备与存储器间的数据传送都通过运算器。

这就是著名的冯・诺依曼原理。根据这一原理，要组成一台计算机实际上需要 5 个部分的内容，也称为计算机的 5 个部件，如图 1.2 所示。

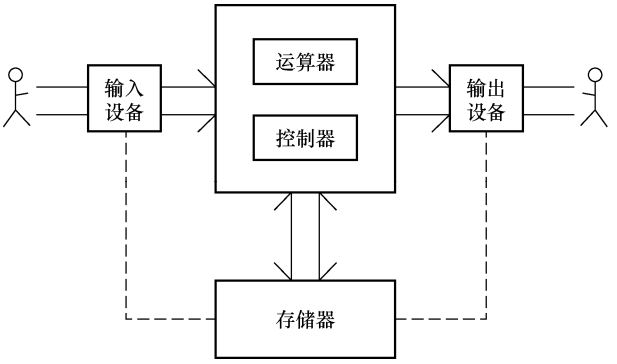


图 1.2　计算机的 5 个部件

2．存储程序的概念

依照冯•诺依曼原理，计算机 5 个部件可以看成相互独立又紧密连接在一起的整体，连接是为了实现信息交流。在这些信息中，按照信息特征可以分为三种：数据信息、控制信息和地址信息。数据信息用来表示二进制数，控制信息就是计算机的操作指令，而地址信息就是信息存储的存储单元的编码。为了方便设计，计算机中的三种信息都有各自的信息传输专线，这些传输专线被称为总线。因此，计算机内部有三大总线：数据总线（DBus）、控制总线（CBus）、地址总线（ABus）。了解了这三大总线，我们就可得到一个更接近实际情况的计算机结构，如图 1.3 所示。

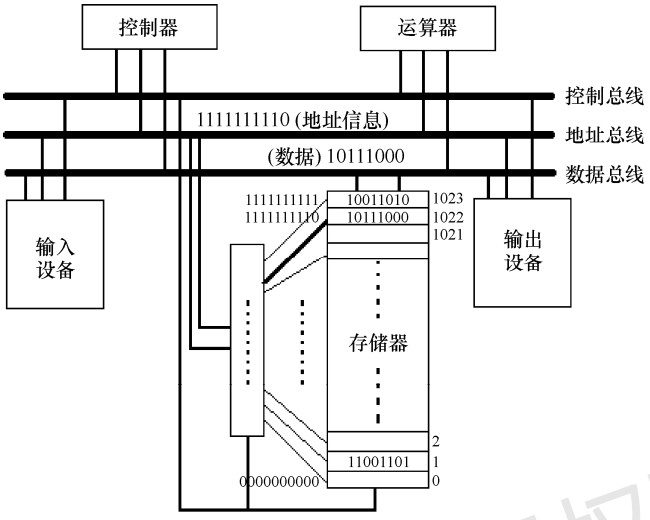


图 1.3　计算机结构

在图 1.3 中，计算机的各个部件通过三大总线紧密联系在一起，存储器的主要功能是对信息进行保存。存储器由大量可以存储二进制数据的存储单元构成，习惯上，我们称 8 个二进制位（一字节）为一个存储单元，每个存储单元都可独立被访问。由于每个单元都要求能被独立操作，因此，需要为每个单元进行编号。如图 1.3 所示，存储器左边的编码“0000000000”和“1111111111”就是存储单元的编号，它们对应的是 0 号和 1023 号存储单元，这个编号在计算机中称为存储器地址。

由于在计算机中需要存储的二进制数很多、很大，为了规范表示，对二进制数定义了一些数量单位以方便交流。以一个二进制位为基数，称为 1bit（位），具体对应关系如下：

8（bit）=1（Byte）　　B（Byte）——字节
1024（Byte）=1（KB）　　KB——千字节
1024（KB）=1（MB）　　MB——兆字节
1024（MB）=1（GM）　　GB——吉字节
1024（GB）=1（TB）　　TB——太字节
1024（TB）=1（PB）　　PB——拍字节
1024（PB）=1（EB）　　EB——艾字节
……

所以，计算机中的信息的一个二进制位称为 1bit，8bit 构成 1Byte，即一字节，然后按照进率 1024（2^{10}）来计算就产生了如下单位：KB、MB、GB、TB、PB、EB、ZB、YB、BB、NB、DB。信息技术飞速发展的今天已经进入大数据时代，很多领域的数据体量都达到了 PB 量级以上。

1.2.2　数制转换

1．数制

2500 年前的古希腊数学家、哲学家毕达哥拉斯，最早悟出万事万物背后都有数的法则在起作用，提出了“万物皆数”的观点。在这里，“物”是这位先哲对信息的理解，“数”是信息的一种内在本质。那么，“数”到底是什么呢？何以能包罗万象，直达本质？

其实，在大家的脑海里，关于“数”的概念，在汉语里是很混淆的，一提到“数”，大家的第一个反应就是想到“0、1、2、3、4、5、6、7、8、9”这十个数。其实，“0、1、2、3、4、5、6、7、8、9”这十个数表示的并不是“数”这个概念，而是“数字”的概念，是一个用来描述具体数量的对应符号。

明白了这个概念，我们应该建立一个认识，用到的“0、1、2、3、4、5、6、7、8、9”这十个数，实际上是十个符号，这十个符号分别对应着十种多少不同的量，而“量”就是事物携带的一个重要信息。当然，也可以选择其他符号，如“A、B、C、D、E、F、G、H、I、J”来表示这十种量。古人就选择“零、壹、贰、叁、肆、伍、陆、柒、捌、玖”这十个汉字来表示这十种量。显而易见的是，“0、1、2、3、4、5、6、7、8、9”这十个阿拉伯数字由于其书写方便、表示清楚，慢慢地在日常生活中取代了中国和其他国家原有的数量表示方法，成为使用最为广泛的数量表示方法。

一种数量表示方法一旦发明之后，理论上应该是能够描述所有的数量的，用 0 到 9 这十个数如何来描述更大的量呢？人们很自然就会想到扩充数位的办法，当一个量为十的时候就用一个高位的“1”表示，写成“10”，当一个量为基准量的十分之一时候就用一个低位的“1”表示，并用一个“.”隔断，写成“.1”，于是这十个数加上“逢十进位”的规则和一个小数点构成了一套完整的进制体系。由于这套体系中所有“量”用 0 到 9 这十个数可描述，并且“逢十进位”，因此就称这套体系为“十进制”。

“十进制”是日常生活中数的“世界语”，原因可能与我们的手指数是十个有关。那么，我们可以用更多或更少的符号来表示量吗？答案是肯定的。如果要把进制定义为一个通用的规则，具体规则如下。

一个完整的数制是由基数、数位和权三要素构成的。基数指数制中用到的基本数字符号；数位指数字符号在一个数中所处的位置；而权指的是对应数位的基值。一个数据对应的量是该数的每一数位按进制权展开的数量的和。

例如，基值为 r 的 r 进制数值 N 的表示方法为：

$$N=(d_{n-1}d_{n-2}\cdots d_1d_0.d_{-1}d_{-2}\cdots d_{-m})$$

该数的大小为：

$$N=d_{n-1}r^{n-1}+d_{n-2}r^{n-2}+\cdots+d_1r^1+d_0r^0+d_{-1}r^{-1}+d_{-2}r^{-2}+\cdots+d_{-m}r^{-m}$$

该式中 n 为整数的位数，m 为小数的位数，d_i 为 r 个数字符号“0，1，…，$r-1$”中的任意一个，r 为基值，r^i 为数位的权值。以十进制数为例：

$$(41.625)_{10}=4\times10^1+1\times10^0+6\times10^{-1}+2\times10^{-2}+5\times10^{-3}$$

基于此公式，大家可以自己尝试去设计一种进制并应用它。

2．R 进制数与十进制数之间的转换

计算机用到的基础数制是二进制，为什么呢？主要是因为“十进制”这种数的表示方法虽然大家都知道，但它却不太适合计算机工作。试想，“逢十进位”需要十个不同的符号来区分十种不同的量，而计算机却是“电脑”——用电的“脑”，电的基本特性是电流、电压，如果要将电流、电压分成十种强度来表示十种不同的量，控制将会异常复杂，最简单的解决办法就是采用“二进制”。“二进制”顾名思义是“逢二进位”的进制，它只需要两个数“0”和“1”来表示所有的量，这刚好满足“电”的最简单特性，即电流的“通”和“断”、电压的“高”和“低”。试想一下，如果用电流的“通”表示“1”，“断”表示“0”，或是电压的“高”表示“1”，“低”表示“0”，就可以实现。在这里，我们可以对“数”这个概念有一个更深层次的理解——“数”不但可以用我们设定的某些符号表示，也可以用设定的某些状态表示。有了这个概念，我们再来看电路，就可以看出电路是“数字”的了！那么如何通过理解“数字”的电路进而理解“电脑”呢？我们先来深入了解一下与计算机内部运算相关的几种进制。

（1）二进制数的表示与转换

根据数制公式，当基值 r 为 2 时，对应的就是二进制。二进制用“0”和“1”两个符号表示量。可能初学者会怀疑，两个符号能表示现实中那么大的量吗？当然，十进制能表示的任何数二进制都能表示。

例如：

$$(41.625)_{10}=4\times10^1+1\times10^0+6\times10^{-1}+2\times10^{-2}+5\times10^{-3}$$

$$(101001.101)_2=1\times2^5+0\times2^4+1\times2^3+0\times2^2+0\times2^1+1\times2^0+1\times2^{-1}+0\times2^{-2}+1\times2^{-3}$$

显然，$(41.625)_{10}=(101001.101)_2$。

一般而言，任意一个十进制数都可以表示为等价的二进制数或者其他进制的数，如八进制数、十六进制数等。要明白其中的奥妙，需要了解不同进制数之间的表示和转换。

① 十进制整数转换为二进制整数。转换方法为“除 2 取余”，余即余数部分。

例如，$(41)_{10}=(?)_2$，转换过程如下：

所以，$(41)_{10}=(101001)_2$。

② 十进制小数转换为二进制小数。转换方法为“乘 2 取整”，整即整数部分。

例如，$(0.625)_{10}=(?)_2$，转换过程如下：

0.625			
× 2			高位
[1].250	得小数点后第 1 位	1	↓
× 2			
[0].500	得小数点后第 2 位	0	↓
× 2			
[1].000	得小数点后第 3 位	1	↓
			低位

注意：乘以 2 新得到数的整数部分取走后一定要清零，以免后续乘以 2 后出现大于等于 2 的数字。

所以，$(0.625)_{10}=(0.101)_2$。

既有整数又有小数的，整数和小数分别进行转换，例如：

$$(41.625)_{10}=(101001.101)_2$$

这里要说明的一点是，在十进制小数转换过程中有时是转换不尽的，这时只能视精度要求转换到小数点后第若干位即可，这类似于十进制中的无限不循环小数的转换。

（2）八进制数的表示与转换

根据数制公式，当基值 r 为 8 时，取 0 到 7 八个符号，对应的就是八进制。例如：

$$(114)_8=1\times8^2+1\times8^1+4\times8^0=(76)_{10}$$

转换方法依然是整数部分的转换为“除 8 取余”，小数部分的转换为“乘 8 取整”。

（3）十六进制数的表示与转换

根据数制公式，当基值 r 为 16 时，取 0 到 9 十个符号来表示，以及再加上英文字母中“A”、“B”、“C”、“D”、“E”和“F”六个符号来表示量 10 到量 15，例如：

$$(4C)_{16}=4\times16^1+12\times16^0=(76)_{10}$$

转换方法依然是整数部分的转换为“除 16 取余”，小数部分的转换为“乘 16 取整”。

3．二进制数、八进制数、十六进制数之间的转换

二进制数虽然包含的符号少，最符合计算机的物理要求，但由于它在表示大数据时包含的数位太多，容易让人看花眼，引起错误。因此，为了方便交流，计算机专家经常使用八进制和十六进制来表示数。由于八进制数、十六进制数与二进制数之间有着天然的转换规律，使它们自然地成为人与计算机之间描述数的桥梁。这个规律就是 $2^3=8$，$2^4=16$。基于这个简单规律，一位八进制数可用三位二进制数表示，对应关系如表 1.1 所示；一位十六进制数可用四位二进制数表示，对应关系如表 1.2 所示。

表 1.1　八进制数—二进制数对应关系

八进制数（O）	二进制数（B）	八进制数（O）	二进制数（B）	八进制数（O）	二进制数（B）
0	000	3	011	6	110
1	001	4	100	7	111
2	010	5	101		

表 1.2 十六进制数—二进制数对应关系

十六进制数（H）	二进制数（B）	十六进制数（H）	二进制数（B）	十六进制数（H）	二进制数（B）
0	0000	6	0110	C	1100
1	0001	7	0111	D	1101
2	0010	8	1000	E	1110
3	0011	9	1001	F	1111
4	0100	A	1010		
5	0101	B	1011		

在多种进制同时出现时，要清楚地标明各数的数制符号。标号方法有两种：一种是直接采用下标数制，如前例所示；另一种是采用标准符号，其中二进制数的符号是“B”，八进制数的符号是“O”，十六进制数的符号是“H”。

依据二进制数与八进制数和十六进制数的对应关系可进行进制数间快速互换。举例如下。

【例 1.1】 $(630)_8=(110011000)_2$

【例 1.2】 (AB5)H=(101010110101)B

因为对应关系为：A 对应 1010，B 对应 1011，5 对应 0101。

【例 1.3】 (111000101001.011011)B=(?)H

二进制数转换为十六进制数时，以小数点为界，分别向左向右 4 位分节，不足 4 位的则补 0，因此(111000101001.011011)B 转换为十六进制数应为：

1110 0010 1001．0110 1100（补 0）

E 2 9 ． 6 C

所以，(111000101001.011011)B = (E29.6C)H。

【例 1.4】 $(11011100110.0101)_2=(?)_8$

二进制数转换为八进制数时，以小数点为界向左向右 3 位分节，不足 3 位补 0，因此 $(11011100110.0101)_2$ 转换为八进制数为：

（补 0）011 011 100 110．010 100（补 0）

3 3 4 6 ． 2 4

所以，$(11011100110.0101)_2=(3346.24)_8$。

除了前面介绍的进制，现实生活中还能见到许多其他进制，如月份的进制可以视为十二进制、分钟的进制可以视为 60 进制等。实际上，进制是可以根据需要自行定义的，各种进制之间也都是可以直接或间接地进行相互转换的，读者不妨自己设计一个五进制或七进制进行练习。

4．原码、反码、补码

在计算机中用来进行计算的数有两种形式：无符号数和有符号数。无符号数指的就是寄存器内的数不存在符号位，每位都用来存放数值；而如果是有符号数，则寄存器中需要留出一位来存储符号。因此，在机器字相同的情况下，有符号数和无符号数的取值范围是不同的。一般在寄存器中是用最高位来表示符号位的，所以无符号数表示的最大值可以是有符号数的两倍。例如，机器字长为 16 位，则有符号数的表示范围为−32768～32767，无符号数的表示范围为 0～65535。为了方便分析问题，下面所介绍的有关内容都是针对 8 位字长的格式而言的。在计算机中，对于有符号数，机器数常用的表示方法有原码、反码和补码三种。

（1）原码

一个数的原码规定为：最高位为符号位，正数为 0，负数为 1，剩余的位数为这个数的绝

对值转换成的二进制数，以及加上一些为了补足位数而添加的零。

[X=+7]原= 0 0 0 0 0 1 1 1

[X=−3]原= 1 0 0 0 0 0 1 1

特殊：[+0]原=00000000

　　[−0]原=10000000

（2）反码

正数的反码与原码相同，负数的反码规定为：把负数的原码除符号位之外的其他各位按位取反。

[X=+7]反= 0 0 0 0 0 1 1 1

[X=−3]反= 1 1 1 1 1 1 0 0

特殊：[+0]反=00000000

　　[−0]反=11111111

（3）补码

正数的补码与原码相同，负数的补码规定为：先求负数的反码，再把反码的最低位加 1。

[X=+7]补= 0 0 0 0 0 1 1 1

[X=−3]补= 1 1 1 1 1 1 0 1

补码表示的 0 有唯一的形式：

[+0]补=[−0]补=00000000

归纳起来可知：正数的原码、反码、补码是相同的，不需要进行数码的转换；而负数在求原码、反码、补码时，最高位的符号位 1 也不需要变化，只是数据位发生变化。

1.2.3　信息的数字化

在前面的介绍中我们已经看到，用若干个符号加一个进位规则可以描述“数”这个概念，那么，毕达哥拉斯提出的“万物皆数”中的“物”可以用“数”来描述吗？当然可以，只不过由于“数”是抽象的，因此，我们用“数”描述出来的物也是抽象的“物”，这个抽象的“物”，可以看成具象“物”本身所携带的信息，而用“数”来描述这些信息的方法就是信息的数字化。从某种程度来说，现实世界中的一切都可以看成信息，但我们普通大众所关注的一般为图、文、声、像这几种，由于计算机用到的基本进制是二进制，因此，本节主要介绍图、文、声、像这些信息是如何用二进制数字化的。

1．英文字符的数字化

英文字符根据需要一般以两种数字化形式出现在计算机系统中。一种是编码（即编号），用来简单区分不同字符，类似学生的学号，用二进制数表示并标准化后被称为 ASCII 码；另一种用来描述相应英文字符对应的符号，人们可以直接认知，二进制化后被称为形码。

（1）ASCII 码

ASCII（American Standard Code for Information Interchange，美国标准信息交换码字符集）码是用 7 位二进制数表示一个英文及符号的编码，编码包括 26 个大写英文字母，26 个小写英文字母，10 个数字符号，32 个通用控制符号和 34 个专用符号。它们都是按照某种规律顺序编排的，注意其中的某些规律对今后的学习会有帮助，ASCII 码表如表 1.3 所示。

表 1.3 ASCII 码表

$b_3b_2b_1b_0$		$b_6b_5b_4$							
		0	1	2	3	4	5	6	7
		000	001	010	011	100	101	110	111
0	0000	NUL	DLE	SP	0	@	P	、	p
1	0001	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
2	0010	STX	DC2	“	2	B	R	b	r
3	0011	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
4	0100	EOT	DC4	$	4	D	T	d	t
5	0101	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
6	0110	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
7	0111	BEL	ETB	‘	7	G	W	g	w
8	1000	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
9	1001	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
A	1010	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
B	1011	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
C	1100	FF	FS	,	<	L	\	l	|
D	1101	CR	GS	−	=	M	]	m	}
E	1110	SO	RS	.	>	N	↑	n	~
F	1111	SI	US	/	?	O	↓	o	DEL

（说明：在 ASCII 码 128 个字符集中，编码值 0～31（0000000～0011111）不对应任何可印刷字符，通常称为控制符，用于计算机通信中的通信控制或对计算机设备的功能控制。编码值为 32（0100000）的是空格字符 SP，编码值为 127（1111111）是删除控制 DEL 码，其余 94 个字符称为可印刷字符。）

（2）英文字符的字形码

以字符“A”为例，要想让计算机中表示的“A”（ASCII 编码为 1000001B）以字符的形式展示在人们面前，必须要有对应的图案，对这样一个图案进行的编码，我们称为字形码，字符“A”的字形码如图 1.4 所示。

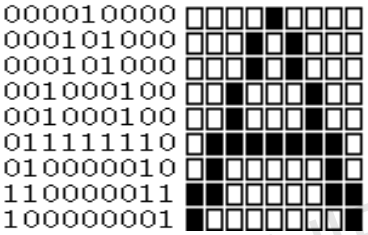


图 1.4 字符“A”的字形码

2．汉字的数字化

计算机面世后的三十多年，中文都不能应用于计算机。一方面是因为计算机是由美国人发明的；另一方面是因为中文输入较英文输入有较大难度。由于所有的单词都可由 26 个字母顺序排列得到，英文是根据语音发明的文字，其结构相对简单。而中文是象形文字，是从图像中简化出来的文字，其形态结构复杂。如果要对汉字数字化，以实现输入/输出，要解决以下几个难题。

（1）汉字编码问题

因为每个汉字都是相对独立的，不像英文单词一样由 26 个字母顺序排列就行了，因此，数万个汉字的合理编码是一个大的基础问题。

（2）汉字输入问题

由于计算机键盘上没有汉字，也没有汉字的笔画，汉字的输入需要借助只能输入英文字母的键盘，因此如何利用现有的键盘实现汉字输入就成为一个问题。

（3）汉字输出问题

由于汉字在形体上较英文更大，表示上也有区别，在输出时就会出现与英文冲突的现象，这也是汉字处理中需要解决的问题。

为了解决上述问题，1981 年 5 月我国国家标准局颁布了 GB2312—80 标准，即“信息交换用汉字编码字符集（基本集）”，简称为国标码。国标码汉字字符集被分成 94 区，每区分成 94 位，即汉字和字符均被排列在 94×94 个编码位置中。每个汉字或字符均以两字节表示，其中第一字节表示区码，第二字节表示位码。在 GB2312—80 中共收录了汉字 6763 个，其中常用的一级汉字有 3755 个，将它们按拼音字母顺序排列，同音字以笔画为序。如 16 区第一位的汉字就是“啊”。二级汉字有 3008 个，按字典中的部首/笔画顺序排列，收录了包括拉丁字母、希腊字母、日文平假名及片假名字母、俄语西里尔字母在内的 682 个全角字符。汉字区位码示意图如图 1.5 所示。

<table>
<tr><td>位
区</td><td>1</td><td>2</td><td>…</td><td>94</td></tr>
<tr><td>1
⋮
15</td><td colspan="4">1～15 区为图形符号区（685 个）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">16
⋮
55</td><td>啊</td><td>阿</td><td colspan="2">…</td></tr>
<tr><td colspan="4">16～55 区为常用的一级汉字区（3755 个）</td></tr>
<tr><td>56
⋮
87</td><td colspan="4">56～87 区为不常用的二级汉字区（3008 个）</td></tr>
<tr><td>88
⋮
94</td><td colspan="4">88～94 区为自定义汉字区</td></tr>
</table>

图 1.5　汉字区位码示意图

汉字有了区位码后，相当于在计算机内有了自己的身份，区位码类似字符的 ASCII 码。GB2312—80 的出现，基本满足了汉字的计算机处理需要，它所收录的汉字已经覆盖 99.75%的使用范围。另外，在汉字编码中，以下几个概念需要注意：用十进制数表示的区位码称为区位码；用二进制数表示的区位码则称为国标码，为了在编码上不与 ASCII 码的前 34 个控制字符冲突，实际用到的国标码在区位码的基础上在区值和位值上分别加上了 20H。由于一个汉字的国标码在表示上会与两个字符的 ASCII 码混淆，因此将表示汉字国标码的两字节的最高位设置为 1，使之变成有别于 ASCII 码的机内用编码，称为机内码，如图 1.6、图 1.7 所示。

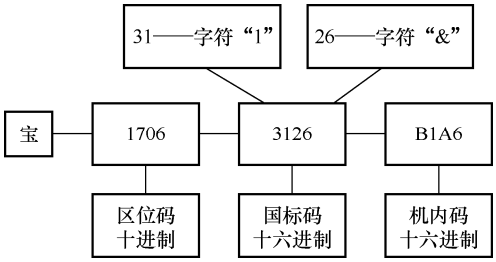


图 1.6 汉字编码转换

图 1.7 “宝”字的机内码输入

汉字的编码问题解决之后，汉字输入问题也就迎刃而解了。实际上最简单的汉字输入就是直接利用其编码输入，如利用区位码、国标码。但由于基本集中汉字有数千个，在输入时就需要把汉字对应的编码记下来，这样速度会很慢。为了解决汉字的快速输入问题，国内外的一批专家致力于汉字输入法的研究，其中著名的汉字输入法是王永民先生研究成功的五笔字型输入法。但五笔字型输入法虽然速度快，却不容易普及。因此，现今，有各种输入编码方案高达 600 多种，已经在计算机上实现的也超过 100 种，它们各有优缺点，适于不同人选用。常见的汉字输入编码方案可分为四类：直接用数字实现汉字输入的编码——数字码（如区位码）；以拼音形式实现汉字输入的编码——音码（如智能 ABC）；通过分析汉字字形实现——形码（如五笔字型）；以及结合汉字音形特征实现的汉字输入的码——音形码（如自然码）。

汉字博大精深，书法大家们创立的字体更是中华民族的文化瑰宝，因此在汉字的输出上主要考虑的是各式汉字字体的输出。输出用的汉字编码称为汉字字形码，或字模码。构建汉字字形有诸多方法，常见的是点阵法，如 ASCII 字符的形码。常用 16×16 点阵形成一个汉字，即一个汉字用 16×16=256 个点表示，每个点占一个二进制位，共需 32 字节。点阵越大，字形质量越高。为提高输出质量，还可采用 24 点阵、48 点阵等。但是点阵越大，所占的存储空间也越大，因而字模读取速度就越慢。除点阵字模外，还有矢量字模、曲线字模和轮廓字模等，在此不再赘述。

随着汉字应用需求的不断增加，出现了许多其他字符集，成为 GB2312—80 的有效补充。

① BIG-5 字符集，收录了 13060 个繁体汉字，808 个符号，总计 13868 个字符，目前普遍

使用于中国台湾、中国香港等地区。

② GBK 字符集，又称大字符集，包含 GB2313 和 BIG-5 两种字符集汉字，收录 21003 个汉字，882 个符号，共计 21885 个字符，包含中日韩（CJK）统一汉字 20902 个、扩展 A 集（CJK Ext-A）中的汉字 52 个。

③ GB18030 字符集，包含 GBK 字符集、CJK Ext-A 全部 6582 个汉字，共计 27533 个汉字。

3．图像的数字化

图像的数字化分成两部分，采集过程的数字化和输出过程的数字化，不管哪部分，图像的表示都是其中的核心，采集与输出的数字化原理是类似的。以输出为例，在图 1.4 中可以看到，在计算机屏幕上可以把对应的点看成一个二进制位，如果用一大片的二进制位去对应屏幕上的点阵，这时就能看出这些二进制位中的“ 1 ”信号构成了一个相应的黑白图案，这就是最原始的黑白图像。当然，大家可能会马上想到，彩色图像如何描述呢？最常用的就是使用 RGB 色彩模式。

RGB 色彩模式是工业界的一种颜色标准，是通过对红（R）、绿（G）、蓝（B）三个颜色的变化及它们相互之间的叠加来得到各式各样的颜色的，RGB 代表红、绿、蓝三种颜色，这个标准几乎包括了人类视觉所能感知的所有颜色，是目前运用最广的颜色系统之一。

RGB 是从颜色发光的原理来设计的，通俗讲它的颜色混合方式就好像有红、绿、蓝三盏灯，当它们的光相互叠合的时候，色彩相混，而亮度却等于两者亮度之和，越混合亮度越高，即加法混合。

RGB 色彩模式使用 RGB 模型为图像中每一个像素的 RGB 分量分配一个 0～255 范围内的强度值，每个分量对应八个二进制位。在 0 时最暗，而在 255 时最亮。当三色数值相同时为无色彩的灰度色，如三色都为 255 时为最亮的白色、都为 0 时为黑色。RGB 图像只使用三种颜色，使它们按照不同的比例混合，在屏幕上可重现 28×28×28=16777216 种颜色，如图 1.8 所示。

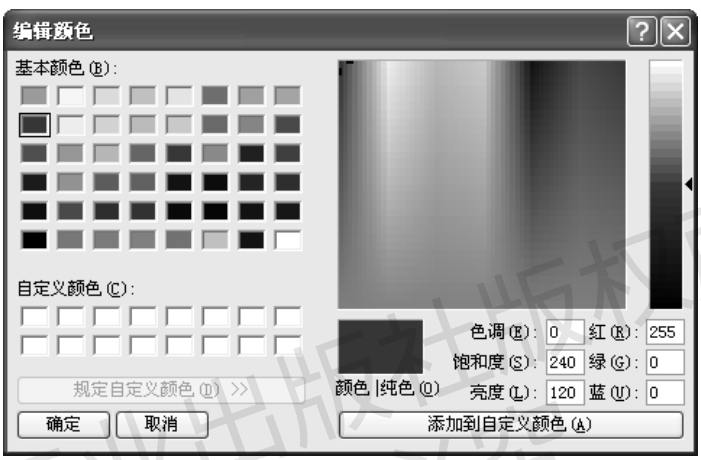


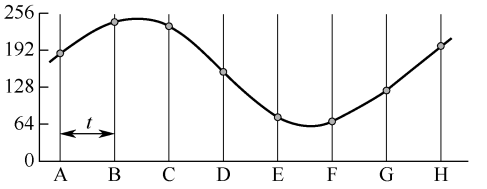
图 1.8　RGB 色彩模式

图像中的每个点用 24 个二进制位表示后，一幅图像中的点对应的数据集合就构成了原始的图像文件信息，这种原始的图像文件信息根据不同的应用需求进行相应变换，最后形成我们在应用环境下所看到的不同图形图像文件，如 JPG 文件、BMP 文件、PSD 文件等。

4．其他信息的数字化

（1）音频编码

“音”其实是一种能量波，因此也有频率和振幅的特征。频率对应于时间轴线，振幅对应于电平轴线。波是无限光滑的，弦线可以看成由无数点组成，由于存储空间是相对有限的，数字编码过程中，必须对弦线上的点进行采样（见图 1.9）。采样的过程就是抽取某点的频率高低，很显然，在一秒内抽取的点越多，获取的频率信息越丰富。为了复原波形，一次振动中，必须有 2 个点的采样，人耳能够感受到的最高频率为 20kHz，因此要满足人耳的听觉要求，则需要至少每秒进行 40k 次采样，用 40kHz 表达，这个 40kHz 就是采样率。我们常见的 CD 采样率为 44.1kHz。光有频率信息是不够的，我们还必须获得该频率的能量值并量化，用于表示信号强度。量化电平数为 2 的整数次幂，我们常见的 CD 为 16bit 的采样大小，即 2 的 16 次方。目前常用的音频编码方式有 PCM、WAV、WMA、MP3 等。



采样点	A	B	C	D	E	F	G	H
十进制采样值	188	244	240	144	80	72	122	200
二进制采样值	1011 1100	1111 0100	1111 0000	1001 0000	0101 0000	0100 1000	0111 1100	1100 1000

图 1.9　音频信号的采样、量化和编码

（2）视频编码

视频在某种程度可以看成连续图像与音频的混合体，编码的关键是保持它们之间的连贯和一致性。其实，视频的关键点是每秒至少显示 24 幅图像且图像间相似程度较高，由于图像涉及的信息量很大，在处理上对计算机要求较高，因此，现在视频编码技术的难点是图像编码的压缩技术。

所谓视频编码方式就是指通过特定的压缩技术，将某个原始视频格式的文件转换成另一种视频格式文件的方式。目前视频流传输中最为重要的编解码标准有国际电联的 H.261、H.263，运动静止图像专家组的 M-JPEG 和国际标准化组织运动图像专家组的 MPEG 系列标准。此外，在互联网上被广泛应用的还有 Real-Networks 的 RealVideo、微软公司的 WMV 及 Apple 公司的 QuickTime 等。由于视频编码技术比较复杂，本书不做详细介绍。

1.3　计算思维与算法

1.3.1　计算思维

从远古的手指计数、结绳计数，到中国古代的算筹计算、算盘计算，到近代西方的骨牌计算及计算器等机械计算，直至现代的电子计算机计算，计算方法及计算工具不断发展，对推动社会进步发挥了巨大作用，现在已经进入到一个普适计算时代。

计算的本质就是基于规则的符号串变换。自然界的事件都是在自然规律的作用下发展变化的。如果把特定的自然规律视为特定的变换规则（称为“算法”），那么，特定的自然过程实际上就可以视为执行特定自然“算法”的一种“计算”。例如，把一个小球扔到地上，小球又弹了起来，那么大地就完成了一次对小球的计算。计算可作为一种广义的思维方式，可通过这种广义的计算（涉及信息处理、执行算法、关注复杂度）来描述各类自然过程和社会过程。

当代著名的未来学家尼葛洛庞帝（Negroponte）在他的《数字化生存》一书中写道“计算不再只和计算机有关，它决定我们的生存”。世界是被计算的，世界充满了计算。计算让不同领域的科学家找到难题的解决办法。美国生物学家克雷格·文特尔采用让计算机实现海量计算的“基因测序霰弹枪算法”，使得基因测序工程比预计提前 3 年完成。我国数学家吴文俊利用计算让几何证明实现了机械化。纵观世界环境，计算正改变着我们的工作方式和生活方式。

计算依赖思维，思维也是与时俱进的。1972 年图灵奖获得者 Edsger Dijkstra 表示：我们所使用的工具影响着我们的思维方式和思维习惯，从而也将深刻地影响着我们的思维能力。

2006 年 3 月，美国卡内基·梅隆大学计算机系主任周以真教授首次较系统地定义了计算思维：计算思维是指运用计算机科学的思想、方法和技术进行问题求解、系统设计，以及人类行为理解等涵盖计算机科学之广度的一系列思维活动。它属于三大科学思维（理论思维、实验思维与计算思维）之一，不仅仅属于计算机科学家，应当是每个人的基本技能，等同于 3R（Reading、Writing、Arithmetic）。

从计算科学的角度来看，计算思维包括 6 方面的特征：抽象性、数字化、构造性、系统化、虚拟化和网络化。

抽象性：计算思维是一种抽象思维，它是基于符号化的、有层次性的。

数字化：计算思维最终要用计算机完成表达，这种表达方式的基础是二进制数，包括编码与存储。可以把这种二进制符号化的特征理解为数字化。

构造性：计算思维的本质特征是基于计算模型（环境）和约束的问题求解，其核心方法就是“构造法”。

系统化：从系统本体论的角度来看，人类思维的对象世界是由各种各样的系统构成的。世界是系统的集合体，系统思维是一种综合性的思维，是整体思维与分析思维相结合的一种思维。

虚拟化：实践决定了思维，思维来源于实践并指导实践。既然现在处在一个广泛的虚拟实践的时代，自然也就产生了虚拟的思维。如果说虚拟实践是把客观世界虚拟化，那么虚拟思维就是把我们的主观世界虚拟化，从与现实的关系这个角度来看，任何的思维方式都具有虚拟性。

网络化：从狭义（形式）上讲，网络化思维是指利用以计算机为核心的信息网络作支撑的人机结合的思维方式。从广义（本质特征）上讲，网络化思维是指思维的一种状态和方式，它比喻思维空间的一种广度和深度，恰似网络的一种结构和空间分布，其思维特征往往体现着网络特征，是系统思维在信息时代的具体体现。

上述这些特征使得计算思维成为一种独立的思维方式。

1.3.2　算法

1．算法的概念

美国分析哲学家鲁道夫·卡尔纳普（Rudolf Carnap）在《世界的逻辑构造》一书中认为：事物既不是“被产生的”，也不是“被认识的”，而是“被构造的”。构造的过程从计算科学的

角度看就是算法实施的过程，也就是计算的过程，自然界这本大书是用算法语言写的！宇宙是一个巨大的计算系统！对于自然（人工）现象的物理抽象是将问题单纯化，成为一个验证体系；数学抽象是将问题逻辑化，成为一个推理系统；而计算抽象是将问题符号化，成为一个计算系统。计算思维之魂就是算法，计算思维的核心是算法思维。

采用算法思维求解问题可分为以下几个基本步骤：

① 问题的抽象；

② 问题的符号化表示；

③ 问题求解的算法；

④ 算法的实现。

以著名的哥尼斯堡七桥问题为例，数学家欧拉将它抽象为一个数学问题，即经过图中每条边一次且仅一次的回路即欧拉回路（路径）问题。这种抽象分为两个阶段：

① 简化，七桥——点、线、图；

② 泛化，无向图的欧拉路径。

计算机科学家会怎么解决这个问题呢？首先把它抽象成一个符号系统：一个图是一个顶点集和一个边集组成的偶对。判断这个图中是否存在欧拉路径，首先要构造一个算法，再用这个算法去找欧拉路径。如果算法成功了，就能找出欧拉路径，否则，这个图中不存在欧拉路径。在这里我们可以看到数学思维与计算抽象存在一个极大的不同，数学抽象给了我们一个判断的规则，我们自己去推理有没有。计算思维给了我们一个算法去找，如果有就能把它找出来，如果没找出来就说明没有。

2．算法的特征

算法是在有限步骤内求解某一问题所使用的一组定义明确的规则。通俗地讲，就是计算机解题的步骤。

一个算法应该具有以下 5 个重要特征。

① 有穷性：一个算法必须保证执行有限步骤之后结束。

② 确定性：算法的每一个步骤必须有确定的定义。

③ 输入：一个算法有 0 个或多个输入，以刻画运算对象的初始情况。0 个输入是指算法本身给定了初始条件。

④ 输出：一个算法有一个或多个输出，以反映对输入数据加工后的结果。

⑤ 可行性：算法上描述的操作在计算机上都是可以实现的。

图 1.10 中的流程图就是一个算法实例。

3．算法效率与复杂度

先看一个例子。学校教务中心有一个学生数据库，可以从中检索学生的各种信息。假设现在要打印自动化专业 31 班学生的花名册，并且假定班上有 50 名学生，要求花名册按照学生姓名的拼音顺序排列。下面看一下不同的程序设计（算法实现）所得到的不同的检索效率。

一个直接的算法是将 50 名学生所有可能排列的表都打出来，然后从中挑选一张符合拼音顺序的表。我们知道，50 个人的不同排列有 50！种，即这样的表有 50！张，这个数目之大，用每秒 100 万次的计算机不停地运算需要 9.6×1048 个世纪，显然，用排列组合方式构造的检索方法是不能实施的。

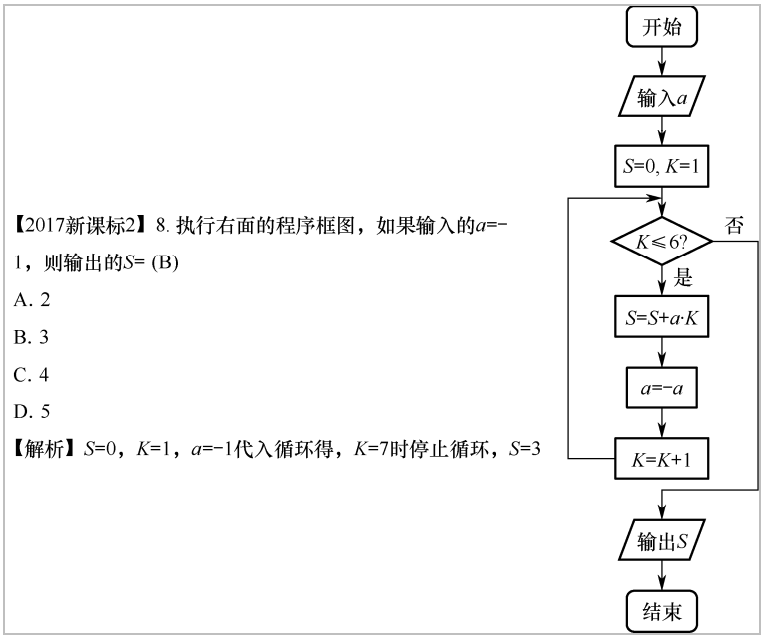


图 1.10　算法实例流程图

因此，需要设计一个算法来提高程序的检索效率，也就是常用的排序算法。

随机地将 50 名同学的名字排列在一起，也就是说初始无序。

取第 2 位同学的名字依拼音顺序和第 1 位的名字比较一次，如果是顺序的，则仍然放在第 2 的位置，否则交换它们的位置。

现在开始比较第 3 位，第 3 位则需要和前两位的名字至多比较两次，至多交换两次。

以此类推，第 k 位至多要比较 $k-1$ 次，第 50 位至多需要比较 49 次，至多交换 49 次。于是，比较和交换次数最多都是 $1+2+\cdots+49=49\times 50/2=1225$ 次，这样就完成了排序过程。

当参加排序的个数是 n 时，第 1 种算法需要运算 $n!$（当 $n>25$ 时，$n!>10^n$）次，第 2 种算法至多需要运算 $(n-1)n/2$ 次，约是 n^2 数量级。前者的次数随 n 的增加，按照 10^n 的指数方式增加，后者则只按 n 的二次多项式的方式增加。一般地，假如在一个问题中有 n 个数据需要处理，而处理的算法的计算次数以指数 n 方式增加，则称为指数算法；若按 n 的多项式方式增加，则称为多项式算法。显然，寻找各种问题的多项式算法，是数学发展的一个关键点。

因此，算法的优劣程度决定了程序执行效率的高低。

虽然设计一个好的求解算法更像是一门艺术，而不像是一项技术，但仍然存在一些行之有效的能够用于解决许多问题的算法设计方法，可以使用这些方法来设计算法，并观察这些算法是如何工作的。在一般情况下，为了获得较好的性能，必须对算法进行细致的调整和优化。但是在某些情况下，调整和优化之后算法的性能仍无法满足要求，这时就必须寻求其他的方法来求解。

算法的复杂性用复杂度来说明，分为时间复杂度和空间复杂度。

时间复杂度：执行该算法所需要的计算工作量，一般用所需基本运算的执行次数来度量。

空间复杂度：执行该算法所需的内存空间，一般用算法程序本身占的空间+输入的初始数据占的空间+算法执行过程中所需的额外空间的总和来表示。

1.4 程序设计语言概述

程序设计语言是人与计算机进行交互的一种语言，就如学习外语一样，只是一种形式化工具，与计算机交流的是我们的思想，将我们的思想以计算机能识别的语言表示出来，就形成了程序。程序是为了实现特定目标或解决特定问题而用计算机语言编写的指令序列，它由算法和数据结构组成。程序中的每个步骤，都是在向计算机发送指令。对于通信双方而言，指令格式、组成字符、语法等一系列标准显得非常重要，而需要学习的就是这一系列的标准，从而将自己的思想赋予计算机，让计算机能智能地、自动地为我们服务。

1946 年，宾夕法尼亚大学的莫克利和埃克特发明了世界上第一台通用计算机“ENIAC”，当时程序员必须手动控制计算机，而唯一想到利用程序设计语言来解决问题的是德国工程师楚泽。

计算机唯一能够识别的是 0 和 1，因此，最初计算机的交互语言是二进制机器语言，即第一代程序设计语言。

由于机器语言太难理解与记忆，人们通过 0 和 1 与计算机进行交互，这样的编程对于大多数人来说都是十分困难的。于是，人们就定义了一系列的助记符帮助理解与记忆，用“ADD”代表数字逻辑上的加，用“MOV”代表数据传递等，就逐渐产生了汇编语言，即第二代程序设计语言。在今天的实际应用中，它通常用于底层，即与硬件打交道的场合。

然而，即使增加了助记符，汇编语言对于人而言还是不太“友好”。随后又逐渐开发出了接近自然语言和数学公式表达的编程语言，即第三代程序设计语言，也就是大家所熟知的高级语言。

计算机高级语言的发展分为两个阶段，以 1980 年为分界线，前一阶段属于结构化语言或者称为面向过程语言，后一阶段属于面向对象语言。至于什么叫面向过程，什么叫面向对象，暂时不需要深入理解，简单来说就是编程时的两种设计思想。

面向过程语言，如 Fortran、Basic 、Pascal 和 C 语言，使程序员可以离开机器层次，通过更加抽象的层次来表达自己的思想，同时也诞生的三种重要控制结构，即顺序结构、选择结构、循环结构，以及一些基本数据类型都能够很好地让程序员以接近问题本质的方式去描述、抽象问题。

目前，Fortran、Basic 和 Pascal 语言已经很少有人使用。C 语言沿用至今，并且依旧是计算机领域中最经典、最重要的语言之一。C 语言既有高级语言的特点，又有汇编语言的特点，在系统级底层开发中优于其他高级语言。当今主流的操作系统，如 Windows、Linux、UNIX 内核和底层程序就是用 C 语言编写的，Android（安卓）本质上是一个基于 Linux 内核运行的 Java 虚拟机。C 语言在 Linux 编程和嵌入式编程中有极高的地位，这也是为什么这些年来我国各个高校针对理工科学生一直坚持开设 C 语言课程的原因之一。

随着计算机的发展，面向应用的问题越来越复杂，数据越来越庞大。为了解决复杂应用，面向过程设计的程序的复杂性也会随之上升。从 20 世纪 80 年代开始，产生了另外一种“以面向对象”为思想的语言，其中最重要、最经典的就是 C++语言。C++从易用性和安全性两个方面对 C 语言进行了升级。C++是一种较复杂、难学的语言，但是一旦学会了则非常有用。后来对 C++进行了改装，产生了两种语言，一个是 Java，另一个是 C#。Java 语言是现在流行的语

言之一，C#则是一个与 Java 语法相似的语言。在后续学习中，可选择其一进行学习。计算机程序设计语言发展的三个阶段如图 1.11 所示。

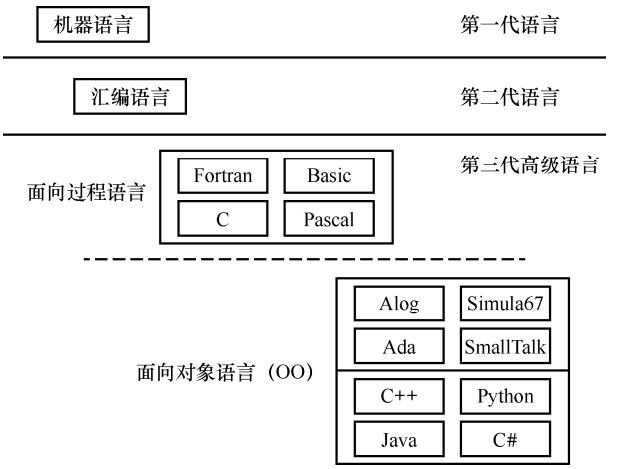


图 1.11　计算机程序设计语言发展的三个阶段

当然，计算机依旧只能识别二进制语言，这是计算机的基础，无论后续语言如何发展，最终在计算机内能够执行的只能是 0 和 1 组成的二进制编码，因此，在其他程序设计语言与机器语言之间就有着一个桥梁，将其他语言翻译为二进制编码执行，使得通信双方能够交流，而这个翻译官就是编译器。由于翻译方式的不同，可将计算机语言分为编译型语言（如 C、C++）和解释型语言（如 Shell、Python）。

在计算机领域，还有一些专用计算机语言，如 HTML、CSS 和 JavaScript，它们是网页设计专用的程序设计语言。另外，随着人工智能和云计算的迅速发展，Python 语言和 Scala 语言成为人工智能和云计算框架的重要编程语言。Python 语言作为一种简单、易懂、高效的语言，已成为目前最流行的程序设计语言之一。许多知名的大型网站，如 YouTube、豆瓣或者一些网络游戏的后台等都是由 Python 语言完成其核心业务开发的，许多大型公司，如 Google、Yahoo 等也都在大量使用 Python 语言。Python 语言包含许多功能非常强大的扩展库，如用于科学计算的 NumPy、SciPy、Pandas 和 Matplotlib 库等，能够进行快速数组处理、数值运算及绘图。正因为 Python 语言在网络爬虫、数据分析、机器学习、人工智能、Web 开发、金融分析等领域的优异表现，许多非理工科专业的学生适合学习 Python 语言，用于数据抓取、数据分析、数据可视化、绘图等工作，并可将其作为后续专业课程学习的有效辅助工具之一。

1.5　小　　结

1．大数据产业正处在高速的蓬勃发展中，从各种各样类型的数据中，快速获得有价值信息的能力，就是大数据技术。

云计算是基于互联网的相关服务的增加、使用和交付模式，通常涉及通过互联网来提供动态易扩展且经常是虚拟化的资源；边缘计算是指在靠近物或数据源头的一侧，采用网络、计算、存储、应用核心能力为一体的开放平台，就近提供服务。从实际应用看，边缘计算并不能代替云计算，也离不开云计算。未来，云计算将与边缘计算形成一种互补、协同的关系，边缘计算需要与云计算通过紧密协同才能更好地满足各种应用场景的需求。

人工智能（Artificial Intelligence，AI）是研究、开发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术及应用系统的一门技术科学。大数据、云计算、边缘计算和人工智能四者之间不可分割、相互影响，它们的应用将深刻影响我们的生活和工作。

2．了解计算机系统的组成、工作原理、存储机制、数制、编码、信息数字化等计算机基础知识，对于编程和理解程序在计算机中的执行过程很有帮助。

3．计算思维是指运用计算机科学的思想、方法和技术进行问题求解、系统设计，以及人类行为理解等涵盖计算机科学之广度的一系列思维活动，它是每个人应当具备的基本技能。从计算科学的角度分析，计算思维包括 6 方面的特征：抽象性、数字化、构造性、系统化、虚拟化和网络化。计算思维的核心是算法思维，算法的复杂性要从时间和空间两方面考虑。

4．程序是为了实现特定目标或解决特定问题而用计算机语言编写的指令序列，它由算法和数据结构组成。程序设计语言经历了机器语言、汇编语言、高级语言几个阶段。高级语言分为面向过程语言和面向对象语言两种类型。算法与程序的区别：计算机程序是算法的一个实例，同一个算法可以用不同的计算机语言来表达。

习 题 1

一、填空题

1．(47)D＝(_____)H。

2．(1101101011.111101)B＝(_____)H。

3．(35.25)D＝(_____)B。

4．(604.7)O=(_____)B。

二、简答题

1．请列举几个生活中的大数据例子。

2．AI 能给我们带来什么？

3．常用的搜索引擎是什么？各有什么优势？

4．请尝试设计一种进制并应用它。

5．7 位 ASCII 码共有多少个不同的编码值？

6．若机器字长为 8 位，则有符号数的表示范围为多少？无符号数的表示范围为多少？

7．+21 与−21 的原码、反码、补码分别是多少？

8．计算的本质是什么？

9．什么是计算思维？计算思维的基本特征有哪些？

10．什么是算法？算法的基本特征有哪些？

11．算法的复杂度分为哪两种？

12．简述程序设计语言发展的过程。

13．C 语言主要用于哪些领域的编程开发？