

第 1 章

计算机与计算思维

计算机已经成为人们的日常生活、工作必不可少的电子设备,它们形态各异,有体型巨大、计算能力超强的超级计算机“天河二号”,还有小巧轻便、能购物、追剧、订票、打车的智能手机,但我们真的了解计算机吗?计算机是什么?如何发展到今天?未来的计算机如何发展?以计算机为核心的热点技术有哪些?计算机对我们来说仅仅是工具吗?计算思维是什么?如何用计算思维的方法借助计算机帮助我们解决实际问题?回答这些问题将有助于我们更加深刻地理解和掌握计算机,提高利用计算机解决实际问题的能力。

本章主要介绍计算机的定义,计算机的诞生和发展,计算机的应用领域,计算机热点技术,计算思维的提出、本质、基本问题和基本方法。

1.1 计算机概述

随着科学技术的迅速发展变化,在几十年前还被大部分人视为神秘机器的计算机现在已经成为人们日常生活中必不可少的工具。比如,去银行取钱、去营业厅交手机费、去图书馆借书、跟 QQ 好友聊天、在网上订购火车票、在淘宝网上逛街等等,我们的生活每天都在跟计算机打交道,那么,什么是计算机呢?

通常,人们认为计算机就是电脑,因为作为信息处理的工具,电子计算机已经部分地替代了人类大脑的功能,也有人说计算机就是 PC(Personal Computer,个人计算机),实际上,计算机不仅仅局限于 PC,从广义上来讲,计算机是一种根据一系列指令来对数据进行处理机器,它能够存储程序和数据、自动执行程序、快速而高效地处理各种数字化信息,其主要工作是进行数值计算和信息处理。简言之,计算机是一种能按照事先存储的程序,自动、高速地进行大量数值计算和各种信息处理的电子设备。

1.1.1 计算机的发展过程

从第一台电子计算机诞生到现在,根据计算机所使用的电子逻辑元件的不同,计算机的发展过程大致可以划分为以下四个时代。

1. 电子管计算机时代

1946 年 2 月,世界上第一台电子计算机 ENIAC(Electronic Numerical Integrator And Calculator,电子数字积分计算机)在美国宾夕法尼亚大学诞生,如图 1-1 所示。ENIAC 使用了 18 000 个电子管,70 000 个电阻,10 000 个电容器,6000 个开关,功耗 150 千瓦,占地 170m²,重达 30 吨,每秒钟可以执行 5000 次加法运算,357 次乘法运算和 38 次除法运算,ENIAC 是计算机发展史上的里程碑,标志着现代计算机的出现。

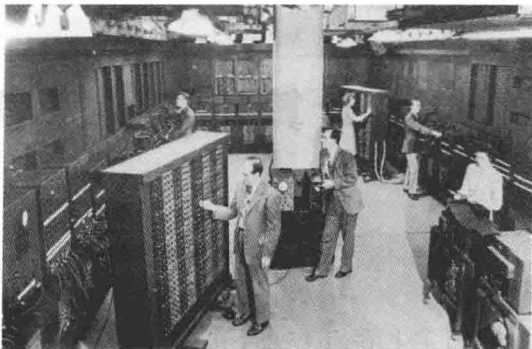


图 1-1 第一台电子计算机 ENIAC

从第一台电子计算机诞生到 20 世纪 50 年代后期,这一时代的计算机属于第一代计算机,其主要特点是采用电子管作为基本物理部件,内存储器使用汞延迟线或磁鼓,外存储器使用穿孔卡片、纸带,运算速度一般为每秒几千次到几万次基本运算。软件方面,最初只能使用机器语言,20 世纪 50 年代中期以后才出现了汇编语言。第一代电子计算机体积庞大、功耗大、可靠性差、价格昂贵,使用起来很不方便,应用也仅限于科学计算和军事目的。

2. 晶体管计算机时代

第二代计算机出现于 20 世纪 50 年代后期,此时计算机采用晶体管作为基本物理部件,内存储器使用磁芯存储器,外存储器使用磁带存储器,运算速度一般为每秒几十万次基本运算。软件方面,采用了监控程序,这是操作系统的雏形。在这一期间,出现了世界上最早的计算机高级程序设计语言 FORTRAN(Formula Translator),其广泛应用于科学和工程计算领域;另外,适用于事务处理的 COBOL(Common Business-Oriented Language)语言也得到了广泛应用,这意味着计算机的应用范围已从科学计算扩展到了事务处理领域。与第一代计算机相比,晶体管计算机体积小、成本低、功能强、可靠性高。这一时期的计算机不仅在军事与尖端技术上应用,也用于工程设计、数据处理、事务管理等方面。

3. 中、小规模集成电路计算机时代

第三代计算机出现于 20 世纪 60 年代中期,此时的计算机采用中、小规模集成电路作为基本物理部件,内存储器使用半导体存储器,外存储器使用磁带、磁盘存储器,运算速度一般为每秒几十万到几百万次基本运算。软件方面,操作系统逐步成熟,这一时期,出现了结构化、模块化的程序设计方法,面向用户的应用软件取得了很大的发展,计算机的软件资源越来越丰富。与第二代计算机相比,集成电路计算机体积更小、功耗更低、价格更低、可靠性更高、计算速度更快。这时,计算机开始具有通用性,兼顾了科学计算、数据处理、实时控制等多方面的应用。

4. 大规模、超大规模集成电路计算机时代

第四代计算机出现于 20 世纪 70 年代,其特征是采用大规模和超大规模集成电路作为基本物理部件,内存储器使用集成度更高的半导体存储器,外存储器使用磁盘、光盘等存储器,计算速度达到每秒几百万次甚至上亿次基本运算。软件方面,出现了数据库系统、分布式操作系统,高效而可靠的高级程序设计语言以及软件工程标准化等,并逐渐形成软件产业部门。与第三代计算机相比,大规模集成电路计算机的体积更加微型化,价格更低,而功能

和可靠性更强,此时的计算机已经走进人们生产生活的各个领域。

【说明】 集成电路(Integrated Circuit, IC)是以半导体晶体材料为基片,经平面工艺加工制造,将许多电子元件、有源器件和互连线集成在基片内部、表面或基片之上,执行某种电子功能的微型化电路或系统。芯片的集成度是指集成电路每个芯片上所包含的电子元器件(如晶体管、电阻等)个数,按集成度可以将集成电路分为6类,如表1-1所示。

表 1-1 集成电路分类

时期	规 模	集成度(元件数)
20 世纪 50 年代末	小规模集成电路(SSIC, Small Scale Integrated Circuits)	$<10^2$
20 世纪 60 年代	中规模集成电路(MSIC, Medium Scale Integrated Circuits)	$10^2 \sim 10^3$
20 世纪 70 年代	大规模集成电路(LSIC, Large Scale Integrated Circuits)	$10^3 \sim 10^5$
20 世纪 70 年代末	超大规模集成电路(VLSIC, Very Large Scale Integrated Circuits)	$10^5 \sim 10^7$
20 世纪 80 年代	特大规模集成电路(ULSIC, Ultra Large Scale Integrated Circuits)	$10^7 \sim 10^9$
20 世纪 90 年代	巨大规模集成电路(GLSIC, Gigantic Scale Integrated Circuits)	$>10^9$

1.1.2 计算机的发展方向

从第一台电子计算机诞生开始,计算机就经历着飞速发展,其发展方向主要体现在以下四个方面。

1. 巨型化

巨型化是指计算机的运算速度更快,存储容量更大,功能更加强大和完善,这一发展方向以巨型计算机的研制为标志。巨型计算机,也叫超级计算机(Supercomputer),简称巨型机,超级计算机具有很强的计算和处理数据的能力,价格也相当昂贵,主要用于航空航天、军事、气象、生物工程等复杂、尖端的科学研究领域。由国防科学技术大学研制的“银河”系列、“天河”系列计算机和国家职能计算机中心研制的“曙光”系列计算机都属于巨型计算机。世界上只有少数几个国家能生产这种机器,它的研制开发是一个国家的综合国力和国防实力的体现。

国际 TOP500 组织每半年评选一次全球超级计算机 500 强(参见 <http://www.top500.org/>),2015 年 7 月发布的最新排行榜中,中国国防科学技术大学研制的“天河二号”超级计算机(如图 1-2 所示)以每秒 33.86 千万亿次的浮点运算速度,第五次摘得全球运算速度最快的超级计算机桂冠。

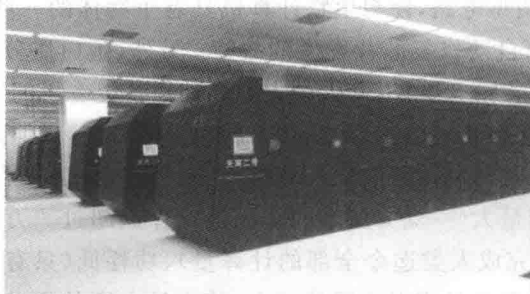


图 1-2 “天河二号”超级计算机

2. 微型化

在计算机的运算速度越来越快,性能越来越高的同时,计算机的体积却在大幅度减小,这得益于计算机硬件技术的发展,集成电路的集成度越来越高,使计算机微型化的进程和普及率越来越快,现在体积小巧、携带方便、功能越来越完善的智能手机、平板电脑已经成为人们日常生活必不可少的电子产品。

3. 智能化

智能化是指计算机具有模拟人的感觉和思维过程的能力,如学习、感知、理解、判断、推理等。现在,正在研制用超大规模集成电路和其他新型物理元件组成,具有推论、联想、智能会话等功能,并能直接处理声音、文字、图像等信息的新型计算机,也称为第五代计算机,是更接近人的智能计算机。

4. 网络化

当人们足不出户就可以在网上购物、给手机充值、订购车票、团购美食的时候,计算机网络化的进程日益加快。计算机网络是计算机技术和通信技术相结合的产物,经历了远程终端、分组交换、计算机网络标准化、互联网四个阶段,下一代网络(Next Generation Network, NGN)将是以数据为中心的融合网络体系结构,可以融合通信、信息、电子商务、娱乐等业务,新型语音、数据、图像融合业务将层出不穷,实现通信多样化、个性化、移动化和随时随地获取信息的发展目标。

1.1.3 新型计算机的发展

随着生物工程等高新技术的研究和发展,计算机技术将拓展到其他新兴的技术领域,未来计算机可能是采用生物电子元件、光电子元件、超导电子元件制造的新型计算机。

1. 生物计算机

生物计算机又称为 DNA 计算机,由于 DNA 分子在生物酶的作用下可以从某基因代码通过生物化学反应转变为另一种基因代码,转变前的基因代码可以作为输入数据,反应后的基因代码可以作为运算结果,利用这一过程可以制成新型的生物计算机。1994 年,美国南加州大学的 Leonard M. Adleman(阿德勒曼)博士首次用 DNA 计算的方式解决了七顶点的旅行商问题(一名旅行商要拜访多个地点时,如何找到在拜访每个地点一次后再回到起点的最短路径),引起了生物计算研究的热潮。

生物计算机采用生物芯片,由生物工程技术产生的蛋白质分子构成。蛋白质分子具有能自由组合,再生新的微型电路,使得生物计算机具有生物体的一些特点,比如能发挥生物体本身的调节机能从而自动修复芯片发生的故障;另外,蛋白质分子具有生物活性能够跟人体的组织结合在一起,特别是可以和人的大脑和神经系统有机的连接,使人机接口自然吻合,生物计算机可以直接接受人的指挥,模仿人脑的思考机制,延伸人脑的功能。

生物计算机作为正在研制的新一代计算机,具有集成度高(一平方毫米的面积上可以容纳几亿个电路)、存储容量大(一立方厘米的体积可以存储超过一万亿张光盘的容量)、运算速度快(24 小时就可以完成人类迄今全部的计算量)、功耗低(只有电子计算机的一百亿分之一)等优点,但是它也有自身难以克服的缺点,其中最主要的便是生物操作技术的实现上还不够成熟,从 DNA 分子中提取信息很困难,这是生物计算机需要攻克的难关。

2. 光计算机

光计算机是用光束代替半导体芯片中的电子,以光互连代替导线进行数据运算、传输和存储的计算机。1986年,美国电话电报公司的贝尔实验室发明了用光脉冲来控制“开”与“关”的光晶体管。1990年1月29日,贝尔实验室的美籍华裔科学家黄庚钰研制成功了用激光光束进行计算的光计算机,运算速度比超级电子计算机快1000多倍。

光计算机与电子计算机相比具有很多优点:第一,传递信息的速度快,光速度可以达到每秒30万千米,而电子在导体中最高不会超过每秒500千米;第二,传输和处理的信息量极大,光计算机中利用反射镜、棱镜、分光镜等可以随意控制和改变光束的方向,光束可以相互交叉而又不损失信息,信息的传输能力很强;第三,功耗极低,随着集成电路集成度的提高,电子计算机的功耗仍然是个大问题,但光计算机除了激光源需要一定的能量外,光传输和光转换的能耗极低。另外,由于现在的通信已发展到光纤通信,使用电子计算机,就必须把光信号变为电信号,而使用光计算机就可以直接进行通信了。

使用光波而不是电流来处理数据和信息可以获得更强劲的运算能力和处理速度,但研制光计算机,需要开发出可以用一条光束来控制另一条光束变化的光学晶体管,虽然目前已经可以实现这样的装置,但是所需的条件如温度等仍较为苛刻,所以光计算机要进入实用阶段还需要解决很多困难。

3. 量子计算机

量子计算机是利用处于多现实态下的原子进行运算的计算机,这种多现实态是量子力学的标志。1982年,美国著名物理学家理查德·费曼在一个著名的演讲中提出利用量子体系实现通用计算的想法。进入20世纪90年代,实验技术和理论模型的进步为量子计算机的实现提供了可能。2009年11月15日,世界首台量子计算机正式在美国诞生,这一量子计算机由美国国家标准技术研究院研制,可处理两个量子比特的数据。

量子计算机与现有的电子计算机的根本区别在于,其信息单元不是比特(用0或1分别表示两个状态),而是量子比特,可以同时处在多个状态,具体来说,电子计算机每个单位只可处理0或1,量子计算机则可同时处理0和1以及0和1之间的中间值,其只需3个Byte(字节)便可处理1600万项任务。理论上,最快的超级计算机需要花10亿年处理的极端复杂的排程运算(将任务分配至资源的过程,即决定每个工作在各资源上的执行顺序,排程结果不但显示每个工作在某一资源上的执行顺序,也显示每个工作在资源上的开始及完成时间),量子计算机只需1分钟即可完成。

目前,科学家已经在实验中造出了多量子比特系统,但是微观量子态很容易受到外界环境的干扰,量子计算机需要在特定的环境中使用,这意味着桌面量子计算机还是不太可能在短期内实现。

1.1.4 计算机的应用领域

随着计算机技术的飞速发展,计算机的应用领域已经从最初的科学计算扩展到数据处理、过程控制、人工智能、辅助系统等各个方面,特别是在政治、经济等相关领域中的应用愈来愈广泛和深入,如电子政务和电子商务。

1. 科学和工程计算

科学和工程计算是计算机最早的应用领域,也是计算机重要的应用领域之一,如卫星轨

迹计算、气象预报等,其特点是计算量大,数值变化范围广,而逻辑关系却相对简单,这方面的应用,要求计算机具有较强的数值/数据表示能力和极快的运算速度。

2. 数据和信息处理

数据处理是指对大量数据进行收集、存储、合并、分类、比较、检索、增删、统计、分析、判别等,计算机数据处理应用广泛,例如银行的账户处理系统、航空公司的计算机订票系统等,这些数据处理应用的特点是数据量很大,但计算相对简单。另外,随着多媒体技术的发展,数据处理的内容更加丰富像指纹识别、图像和声音信息的处理、视频信息的处理等,这些数据处理过程不仅数据量大,还包含大量复杂的数字化运算过程。

3. 过程控制

过程控制是生产自动化的重要技术内容和手段,是指用计算机实时采集检测数据,按照设定迅速地对控制对象进行自动控制或自动调节,例如,煤矿生产中,当检测到瓦斯浓度超过警戒值时,计算机控制启动自动风门,补充氧气,减低瓦斯浓度。

4. 人工智能

人工智能是指用计算机模拟人的智力活动的过程,人类自然语言的理解与自动翻译、文字和图像的识别、疾病诊断、数学定理的机器证明,甚至计算机下棋等都属于人工智能的研究和应用范围。

5. 辅助系统

计算机辅助系统是计算机的另一个重要应用领域,包括计算机辅助教学(CAI)、计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)等系统。

计算机辅助教学(Computer Aided Instruction, CAI)是在计算机辅助下进行的各种教学活动,包括多媒体课件、动画演示、自主学习网站等多种方式,弥补了传统教学方式不够直观、缺乏动态感的缺陷,有助于提高教学质量和教学效率。

计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)是用计算机帮助各类人员进行设计,通常可以借助各种辅助设计软件对飞机、汽车、船舶、机械、电子、土木建筑以及大规模集成电路等机械、电子类产品进行设计。计算机辅助设计不但减少了设计人员的工作量,提高了设计速度,而且还提高了设计质量。

计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing, CAM)是用计算机进行生产设备的管理、控制和操作,例如,在机械制造业中,利用计算机控制各种数值控制机床和设备,自动完成离散产品的加工、装配、检测和包装等制造过程。使用 CAM 技术可以提高产品的质量,降低成本,缩短生产日期,降低劳动强度。

6. 电子商务

电子商务是以现代网络技术为基础进行的各类商贸活动,根据交易对象不同可以分为企业对企业(Business-to-Business, B2B),企业对消费者(Business-to-Consumer, B2C),消费者对消费者(Consumer-to-Consumer, C2C)三类。

B2B是企业与企业之间通过互联网进行产品、服务及信息的交换,B2B的交易额占电子商务交易额的绝大部分。B2B使企业之间的交易减少了许多事务性的工作流程和管理费用,降低了企业经营成本,此外,网络的便利及延伸性使企业扩大了活动范围,企业发展跨地区跨国界更方便,成本更低廉。

B2C是企业 and 消费者之间通过互联网进行的在线销售活动,如经营各种书籍、家电、通

信产品等,当当、天猫商城、京东商城、苏宁易购、国美在线等都是 B2C 的典型代表。B2C 借助 Internet 提供的搜索浏览功能使消费者更容易寻找和深入了解要购买的产品,而且提供了电子钱包、网上银行等便捷的在线支付手段,加之快捷的物流配送,使得 B2C 电子商务得到了快速发展。

C2C 是消费者和消费者之间通过网络进行的交易,即商品和信息从消费者直接到消费者,俗称“网上开店”,淘宝网、拍拍网是目前最热门的 C2C 电商平台。2015 年 1 月 10 日,拍拍网推出了拍拍微店 APP,其突破了传统 PC 开店的繁琐程序,用户只要登录 AppStore 和各大安卓应用市场下载 APP 后,通过 QQ 号码登录,就可以完成拍照上传商品、编辑商品详情、店铺模板、查询订单、数据统计、提现等诸多店铺管理功能。

目前,随着移动电子设备的迅速普及和发展,利用手机、掌上电脑等无线终端进行的 B2B、B2C、C2C 的电子商务活动越来越普遍,这类商务活动称为移动电子商务。它将因特网、移动通信技术、短距离通信技术及其他信息处理技术完美的结合,使人们可以在任何时间、任何地点进行各种商贸活动,作为一种新型的电子商务方式,移动电子商务将逐渐普及或成为主流的商务模式。

7. 电子政务

电子政务是政府部门利用现代网络技术,实现政务公开、网上服务、资源共享、内部办公自动化的政务处理方式。与传统的政府服务相比,电子政务使政府工作更公开、透明,可以为企业和公民提供更好的服务。根据行为主体不同可以分为政府对政府(Government-to-Government, G2G),政府对企业(Government-to-Business, G2B),政府对公民(Government-to-Citizen, G2C)三类。

G2G 是政府内部、政府上下级之间、不同地区和不同职能部门之间实现的电子政务活动,包括发布电子法规政策、电子公文传送、财政预算及执行情况说明、业绩评估等。

G2B 是政府对企业的电子政务活动,包括政府通过计算机网络为企业提供公共服务和企业通过计算机网络为政府提供商品、服务等。G2B 为政府与企业间进行业务与信息交换、处理公共事务提供了便利。

G2C 是政府对公民的电子政务活动,政府通过网络为公民提供教育、培训、就业、医疗、社保、法律等服务,公民也可以通过网络给政府提出意见和建议,进行参政议政。

随着移动互联网、云计算、物联网等新一代信息技术的飞速发展,电子政务的智能化阶段已经开启,“电子政府”正向“智慧政府”进行转变,通过构建智能办公、智能监管、智能服务、智能决策四大系统,构建高效、便民的新型政府,以更好地完成经济调节、市场监管、社会管理和公共服务等职能。

1.2 计算机热点技术

目前,在移动业务、海量信息分析、智能处理等需求的驱动下,移动互联网、云计算、物联网等已经成为计算机技术的新热点。

1.2.1 移动互联网

移动互联网是基于移动通信与互联网技术,通过手机、平板电脑等智能移动终端设备获取业务和服务的新一代互联网。据统计,截至 2015 年 6 月,我国移动互联网用户总数达

9.05 亿户,手机网民规模达 5.94 亿,短信、移动音乐、手机游戏、视频播放、手机支付、定位服务等为人们提供了便捷的、多样化的信息和服务。

目前,第四代移动通信技术(简称 4G)正以更快的无线通信技术(传输速率可达到 100Mbps)、更灵活的通信方式(随时随地利用各种移动设备传输信息)、更高的智能(主动提供服务满足用户个性化需求)、更好的兼容性(接口开发,兼容 3G 网络)推动移动互联网的迅猛发展,而手机、平板电脑、PDA、车载导航仪、可穿戴设备等移动智能终端的小型化、多样化以及接入方式的便捷性都意味着我们已处在全新的移动互联网环境中。

1.2.2 云计算

云计算(Cloud Computing)是一种新兴的计算模式,在远程数据中心,大量计算机连接成一片“云”,它可以将计算任务分布在由这些计算机构成的资源池上,以提供各种服务包括强大的计算能力、超大的存储空间、丰富的应用软件等。对于个人用户而言,只需要通过 PC、手机等接入数据中心,按自己的需求进行运算和数据存储,而不需要关心数据在哪片“云”上进行计算或存储,例如 360 云盘,只需在手机或 PC 中安装云盘客户端即可在云盘安全地保存文件、照片、音频、视频等。对于企业用户,云计算为它们提供了合适的硬件平台、开发环境、适合的软件、个性化的管理服务,使企业以较低的成本享受到高性能的服务,例如微软云 Azure 为房地产、航运、视频网站等企业提供了安全、灵活、快速的服务,使用户在通过传统方式运营复杂且需要付出极大管理成本的各项业务在云计算中变得轻松和容易。

1.2.3 物联网

物联网(Internet of Things, IOT)即物物相连的网络,是互联网的延伸,由人与人之间的通信扩展到任何物品与物品之间的通信。具体地说,物联网是通过条码、二维码、射频识别装置、红外感应器、激光扫描器、全球定位系统等信息传感设备及系统,按照约定的通信协议,将具有全面感知能力的物体和人互联起来进行信息交换,以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的巨大网络。

物联网的应用领域非常广阔,涵盖了家居、医疗、农业、交通、安防、金融、教育、军事等各个行业。例如农业物联网通过仪器检测农场的空气湿度、土壤温湿度、二氧化碳浓度、植物新陈代谢能力等信息,将采集到的数据上传至服务器进行数据分析,对农作物的生长情况进行远程监控,并根据需要控制相应设备进行浇水、施肥、喷药等作业,通过物联网实现了人和农作物的对话,更准确地获知农作物的需求,使其获得最佳的生长环境。

移动互联网、云计算和物联网三大热点技术的发展既各成体系,又相互联系、相辅相成,云计算为移动互联网提供了强大的存储和计算能力,使基于移动互联网的诸多应用成为可能,移动互联网是物联网发展的基础,各种物与物的连接要通过移动互联网来实现,随着技术的进步和发展,三者最终将走向“融合”,统一形成一个规模庞大的有机体。

1.3 计算思维

近年来,移动互联网、云计算和物联网等新技术的出现和发展,极大地改变了人们对于计算和计算机的认识,哪些问题是可以用计算的方法进行求解的,计算的复杂度如何,

是否是可行计算,如何用计算机实现这些计算,这些人类思维活动中以构造性、可行性、确定性为特征的计算思维(Computational Thinking)引起了国内外科学研究和教育领域的重视。

1.3.1 计算思维的提出

计算思维这一概念是由美国卡内基·梅隆大学计算机科学系主任、美国基金会计算机和信息科学与工程部(MSP CISE)主任周以真(Jeannette M. Wing)教授在2006年3月美国计算机权威期刊 *Communications of the ACM* 上首次提出并定义的,她提出计算思维是运用计算机科学的基础概念进行问题求解、系统设计以及人类行为理解等活动,它涵盖了计算机科学之广泛性的一系列思维活动。

虽然,计算思维的概念提出的时间不长,看似是有了计算机之后才有了计算思维,但实际上,计算思维是人类固有的思维方式,是人们认识 and 解决问题的能力之一,就像木工要把木材加工成家具,需要考虑加工过程的操作步骤和细节,每个步骤之间的顺序和完成的标准,如果其中某一步骤失败应该采取的替代措施,这样的过程包含了计算思维的可行性、可构造性和可评价性等核心内容。计算思维存在于人类的自然思维之中,只是人类的计算思维活动是无意识的,如何将无意识的计算思维变成有意识的计算思维,主动地用计算思维去解决问题,特别是使用具有快速处理能力、海量存储容量的计算机帮助人类解决原来看似不能解决的问题,是计算思维这一概念提出的根本目的。

1.3.2 计算思维的本质

计算思维的本质是抽象和自动化,是对客观世界进行抽象化、形式化、自动化的思想和方法。计算思维能够将一个问题清晰、抽象地描述出来,并将问题的解决方案表示为一个信息处理的流程,即抽象的自动执行。具体地说,计算思维中问题求解的一般步骤为:问题抽象化的描述,问题表示,即如何建立模型;寻找解决方案,问题求解,即如何设计算法;计算机实现过程、效率,即如何有效地求解、编码;现实问题的延伸,即拓展思维。

比如,著名的旅行商问题(Traveling Salesman Problem, TSP),也称为推销员问题,指一名推销员要拜访多个地点时,如何找到在拜访每个地点一次后再回到起点的最短路径。实际上,旅行商问题可以应用到交通运输、物流配送和互联网信息流动等诸多领域,如在物流业,假设某快递公司的快递员小张每天需要开车从快递公司(A)向三个快递点(B、C、D)运送快件(如图1-3所示),为了以最快的速度 and 最低的成本完成运送,就需要规划出快递公司 and 三个快递点之间最短的距离,使运送快递的车辆经过各个快递点,将快件一次送完,最后返回快递公司,下面给出具体的问题求解步骤。

(1) 问题表示。先将问题抽象成合适的数学模型,即将快递公司和三个快递点抽象成如图1-4所示的四个节点,节点A代表快递公司、节点B、C、D分别代表三个快递点,假定现在要从A节点出发,途经其余三个节点后,最后返回A节点,节点间连线旁的数字代表节点间的距离。

(2) 问题求解。如果给定的节点数较少,一般情况下会采用枚举法,即将所有的路线及其总的距离列举出来,选择距离最短的路线,本例中,除掉初始节点,共有3!种路线,其中最短距离为ACDBA或ABDCA。

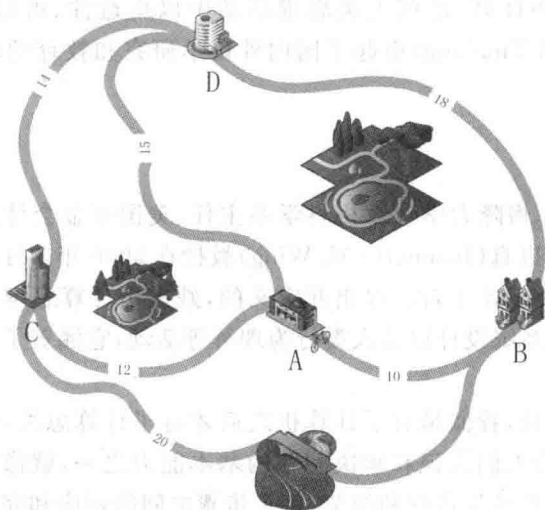


图 1-3 快递员路线地图

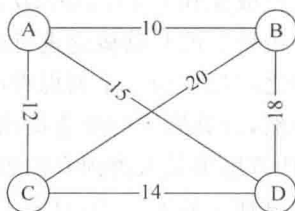


图 1-4 旅行商问题的实例抽象

(3) 算法效率分析。枚举算法的特点是算法简单,但运算量大,当问题的规模变大时,要列举所有路径后再确定最短路径,总路径的数量呈指数级数增长,即使是计算机也难以计算出来。那么,除了枚举算法,还有遗传算法、蚁群算法等,目前,比较新的进展是,英国伦敦大学皇家霍洛韦学院等机构研究人员报告说,小蜜蜂显示出了轻而易举破解这个问题的能力,因为它们总可以找到在不同花朵间飞行的最短路径,如果能理解蜜蜂的解决方式,将能更好地解决旅行商问题。

(4) 现实问题的延伸。以上是对传统的旅行商问题进行了分析和解决,实际生活中,该问题还可以进一步扩展和延伸,如多旅行商问题,指多个旅行商从同一地点或不同地点出发,分别走一条线路,使得每个地点有且只有一个旅行商经过(出发地点除外)且总路程最短。再比如在科学管理与经济决策的许多应用领域中的问题,需要优化的目标往往不止一个,常常需要同时考虑路程最短、时间最少、费用最省、风险最小等多方面的因素,即多目标旅行商,还有约束的旅行商问题、动态旅行商问题等等,这些拓展的旅行商问题需要进一步探索求解它们的算法,以满足解决不同实际问题的需要。

1.3.3 计算思维的基本问题

什么是计算,什么是可计算,什么是可行计算,这是计算思维的基本问题。为了便于理想,下面以著名的汉诺塔问题为例来说明。汉诺塔是根据一个传说形成的一个问题:在世界中心贝拿勒斯(在印度北部)的圣庙里,一块黄铜板上插着三根宝石针。印度教的主神梵天在创造世界的时候,在其中一根针上从下到上地穿好了由大到小的 64 片金片,这就是所谓的汉诺塔。不论白天黑夜,总有一个僧侣在按照下面的法则移动这些金片:一次只移动一片,不管在哪根针上,小片必须在大片上面。僧侣们预言,当所有的金片都从梵天穿好的那根针上移到另外一根针上时,世界就将在一声霹雳中消亡,而梵塔、庙宇和众生也都将同归于尽。

这只是一个传说,假设汉诺塔是由 A、B、C 三根杆子组成的。A 杆上有 N 个($N > 1$)穿

孔圆盘, 盘的尺寸由下到上依次变小。要求按下列规则将所有圆盘移至 C 杆: 每次只能移动一个圆盘; 大盘不能叠在小盘上面。现在分析一下这个问题中的计算、可计算和可行计算, 即: 如何移动? 最少要移动多少次? 此过程是否可以实现?

以 $X(N)$ 表示 N 个圆盘从 A 杆移动到 C 杆需要移动的次数, 按照移动规则有 $X(1)=1, X(2)=3 \cdots, X(N)=2 \times X(N-1)+1, N>1$, 那么, 可以得出 $X(N)=2^N-1$ 。当 $N=64$ 时, $N(64)=2^{64}-1=18\,446\,744\,073\,709\,551\,615$, 假设每秒钟移动一次, 一个平年 365 天有 31 536 000 秒, 大约是 5849 亿年, 应该说这个问题是可计算的, 但不是可行计算。

1.3.4 计算思维的基本方法

周以真教授认为计算思维是一种能力, 这种能力可以通过熟练地掌握计算机科学的基础概念而得到提高, 她将这些基础概念总结为七大类方法。

(1) 通过约简、嵌入、转化和仿真等方法, 把看来困难的问题重新阐释成我们已知解决方法的问题。

(2) 递归方法、并行处理方法、把代码译成数据又能把数据译成代码的方法、多维分析推广的类型检查方法。

(3) 通过抽象和分解来控制庞杂的任务或进行巨大复杂系统设计的方法、基于关注分离 (Separation of Concerns, SoC) 的方法。

(4) 选择合适的方式去陈述一个问题, 或对一个问题的相关方面建模使其易于处理的思维方法。

(5) 按照预防、保护及通过冗余、容错、纠错的方式, 从最坏情况进行系统恢复的一种思维方法。

(6) 利用启发式推理寻求解答, 即在不确定情况下的规划、学习和调度的思维方法。

(7) 利用海量数据来加快计算, 在时间和空间之间, 在处理能力和存储容量之间进行折中的思维方法。

在大学计算机基础课程中, 几乎每一个概念对应一种计算思维方法, 如多核处理器是并行处理方法、缓存和虚拟存储是在处理能力和存储容量之间进行折中的思维方法; 在程序设计课程中, 各种常用算法以及各类问题的求解方法都是重要的计算思维方法, 如递推法、递归法、枚举法等; 在计算机应用课程中, 每一门课程、每一个项目都是多种计算思维方法的集合, 如数据库应用系统的设计开发过程包含了抽象、分解、转化、冗余、容错等思维方法。学习计算机课程的核心任务就是要掌握使用计算机解决问题的基本思维和方法, 能够把要解决的问题转化成用计算机解决的形式, 即学会应用计算机的同时, 学会使用计算思维的基本方法去解决问题。

计算机是一个由坚实耐用的硬件和丰富多彩的软件完美组合在一起的系统,其内部采用了易于实现、运算快捷的二进制数来表示数据和指令。在指令的控制下,计算机各个部件相互协调、有条不紊地工作,出色地完成了交给它的任务。计算机为什么使用二进制数?计算机由哪些部件组成?它们之间又是如何协作的?弄清楚这些问题,会让我们对计算机这个复杂而又简单的系统拥有更深刻的认识。

本章主要介绍计算机的常用数制、数制间的转换、二进制的特点和运算,计算机的逻辑组成和工作原理,计算机的硬件系统和软件系统。

2.1 数制与运算

按进位的原则进行计数称为进位计数制,简称“数制”。在日常生活中,通常以十进制计数。除了十进制以外,生活中还有很多非十进制的计数方法,例如,记录时间用60秒为1分钟,60分钟为1小时,是六十进制计数法,24小时为1天,是二十四进制计数法,7天为1个星期,是七进制计数法等等。

人们在日常生活中通过计算解决实际问题时,习惯使用十进制数,而计算机内部采用的是二进制数。计算机中之所以只使用二进制一种计数制,是因为二进制具有如下特点。

(1) 二进制中只有0和1两个符号,使用有两个稳定状态的电子器件就可以分别表示它们,物理上容易实现。例如,CPU内部用高电平表示1,低电平表示0。

(2) 二进制数的运算规则简单,易于进行高速运算。例如,二进制数的加法运算规则有3种: $1+0=0+1=1$; $0+0=0$; $1+1=10$,如果使用十进制数,其加法运算规则有55种之多,运算复杂。

(3) 数理逻辑中的“真”和“假”可以分别用“1”和“0”来表示,便于进行逻辑运算。

虽然,计算机使用二进制具有以上优势,但是,表示同一个数,使用二进制数表示就要比十进制数、八进制数或十六进制数用更多的位数,在表现形式上相对繁琐,书写、阅读、记忆均不便,为此,在计算机应用中常常根据需要使用表现形式比较简洁的八进制数或十六进制数,且二进制与八进制和十六进制正好有如下转换关系: $2^3=8$ 、 $2^4=16$,便于在计算机应用中表示。

2.1.1 计算机的常用数制

1. 十进制数

按“逢十进一”的原则进行计数,称为十进制数,使用后缀D表示,即每位计到10时,本

位为0,高1位加1,即向高位进1。对于任意一个十进制数,可用小数点把数分成整数部分和小数部分。小数点向右移一位,新数是原数的10倍;反之,小数点向左移一位,新数是原数的1/10。

某一进制中允许选用的基本数字字符的个数称为该进制的基数,十进制数的基数是10,有10个数字字符,即0、1、2、3、4、5、6、7、8、9;在数的表示中,每个数字都要乘以基数10的幂次。例如:十进制数124.16,可用如下形式表示:

$$124.16D=1\times10^2+2\times10^1+4\times10^0+1\times10^{-1}+6\times10^{-2}$$

一个数字所在的某个固定位置所代表的值称为位权,简称权,如124.16D中“2”的位权就是 10^1 。处在不同位置上的数字所代表的值不同,每个数字以及它所在的位置的位权决定了它的值。位权与基数的关系是:在各进位制中,位权总是基数的若干次幂。因此用任何一种数制表示的数都可以写成按位权展开的多项式之和。

2. 二进制数

按“逢二进一”的原则进行计数,称为二进制数,使用后缀B表示,即每位计满2时向高位进1。对于任意一个二进制数,可用小数点把数分成整数部分和小数部分。小数点向右移一位,新数是原数的2倍;反之,小数点向左移一位,新数是原数的1/2。

二进制数基数是2,有两个数字字符,即0和1;在数值的表示中,每个数字都要乘以基数2的幂次,即每一位被赋予的权,整数第一位的权为 2^0 ,第二位为 2^1 ,第三位是 2^2 ,后面的以此类推。显然,幂次由该数字所在的位置决定。例如,二进制数1101.101B可用如下的形式表示:

$$1101.101B=1\times2^3+1\times2^2+0\times2^1+1\times2^0+1\times2^{-1}+0\times2^{-2}+1\times2^{-3}$$

3. 八进制数

八进制数使用后缀Q表示,基数是8,有8个数字字符,即0、1、2、3、4、5、6、7,计数时“逢八进一”。例如,八进制数506.7Q,按位权展开可用如下的形式表示:

$$506.7Q=5\times8^2+0\times8^1+6\times8^0+7\times8^{-1}$$

4. 十六进制数

十六进制数使用后缀H表示,基数是16,有16个数字字符,即0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F,其中,A、B、C、D、E、F分别表示10、11、12、13、14、15,计数时“逢十六进一”。例如,十六进制数E6A.4H,按位权展开可用如下的形式表示:

$$E6A.4H=14\times16^2+6\times16^1+10\times16^0+4\times16^{-1}$$

2.1.2 数制间的转换

将数从一种数制转换为另一种数制称为数制间的转换。由于计算机采用二进制,而在日常生活或数学中人们习惯使用十进制,所以在进行计算机数据处理时必须把输入的十进制数转换为计算机所能接受的二进制数,计算机在运行结束后,再把二进制数转换为人们习惯的十进制数输出。人们在使用计算机的过程中,这两个转换过程是由计算机系统自行完成的,不需要人们参与。

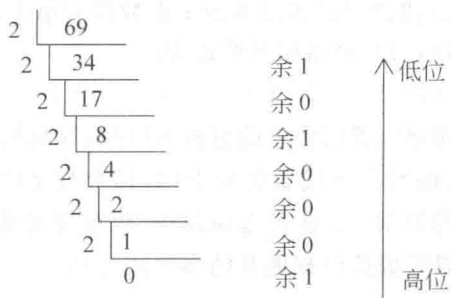
1. 十进制数转换为N进制数

十进制数转换为N进制数,需要按整数部分和小数部分分别转换,这里的N可以是二、

八、十六或其他进制。

十进制整数转换为 N 进制整数,方法是“除以 N 倒取余,直到商为 0”。即把十进制整数除以 N,一直到商是 0 为止,然后将所得到的余数由下而上排列。

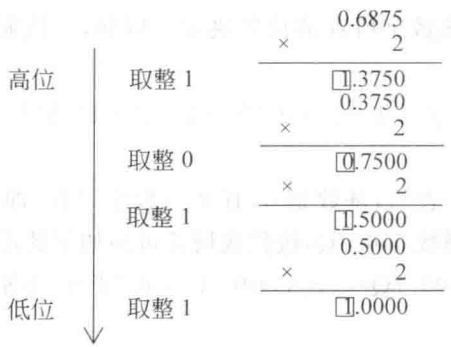
【例 1.1】 将十进制数 69 转换为二进制数。



所以,69D=1000101B。

十进制小数转换为 N 进制小数采用“乘以 N 顺取整”,即把十进制小数不断地去乘 N,直到小数的当前值等于 0 或满足所要求的精度为止,最后将所得到的乘积的整数部分由上而下排列。

【例 1.2】 将十进制小数 0.6875 转换为二进制小数。



所以,0.6875D=0.1011B。

【说明】 通常,一个十进制整数能够完全准确地转换为非十进制整数,但一个十进制小数并不一定能完全准确地转换为非十进制小数。例如,十进制小数 0.1 就不能完全准确地转换为二进制小数。在这种情况下,可以根据精度要求只转换到小数点后某一位为止,这个数就是该小数的近似值。

在进行转换时,如果一个数既有整数部分,又有小数部分,应将整数部分和小数部分分别进行转换,然后再组合起来。

【例 1.3】 将十进制数 69.6875 转换为二进制数。

69D=1000101B

0.6875D=0.1011B

所以,69.6875D=1000101.1011B。

2. N 进制数转换为十进制数

N 进制数转换为十进制数采用“位权法”,即把各非十进制数按位权展开,然后求和。

【例 1.4】 将二进制数 100111.101B 转换为十进制数。

$$\begin{aligned} 100111.101B &= 1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} \\ &= 32 + 0 + 0 + 4 + 2 + 1 + 0.5 + 0 + 0.125 \\ &= 39.625D \end{aligned}$$

【例 1.5】 将十六进制数 16A.BH 转换为十进制数

$$\begin{aligned} 16A.BH &= 1 \times 16^2 + 6 \times 16^1 + 10 \times 16^0 + 11 \times 16^{-1} \\ &= 256 + 96 + 10 + 0.6875 \\ &= 362.6875D \end{aligned}$$

3. 二进制数与八、十六进制数之间的转换

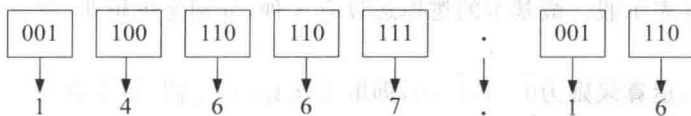
由于计算机实际上是按照二进制数进行处理的,在使用计算机时不可避免地要接触二进制数,然而,二进制数不便读写,所以计算机中常用八进制数和十六进制数。二进制数转换为八进制数和十六进制数都很方便。

(1) 二进制数转换为八进制、十六进制数

八进制数中的最大数是 7,用二进制表示的话,需要使用 3 位二进制数,因此,在把二进制数转换为八进制数时,按“3 位并 1 位”的方法进行。如果一个二进制数的整数部分或小数部分的位数不是 3 的整数倍,则以小数点为界,用两端补 0 的方法,先将二进制数的整数部分与小数部分的位数分别补足为 3 的整数倍,然后,将各组的 3 位二进制数按 2^2 、 2^1 、 2^0 加权展开后相加,得到 1 位八进制数。

类似地,二进制数转换为十六进制数,采用“4 位并 1 位”的方法。

【例 1.6】 将二进制数 1100110110111.00111B 转换为八进制数。



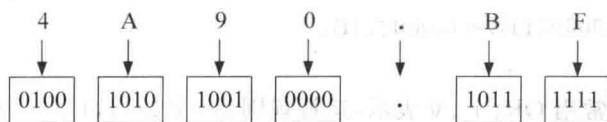
所以, $1100110110111.00111B = 14667.16Q$ 。

(2) 八、十六进制转换为二进制数

将八进制数转换成二进制数时,先把每位八进制数用对应的 3 位二进制数展开表示,即“1 位拆 3 位”,然后去掉两端多余的 0。

类似地,十六进制数转换为二进制数,采用“1 位拆 4 位”的方法。

【例 1.7】 将十六进制数 4A90.BFH 转换成二进制数。



所以, $4A90.BFH = 100101010010000.10111111B$ 。

2.1.3 二进制的运算

对二进制数可以进行两种不同类型的基本运算:算术运算和逻辑运算。

1. 算术运算

二进制的算术运算与十进制的算术运算一样,也包括加、减、乘、除,但是二进制的运算

更简单。在计算机内部乘和除运算是通过加、减和移位运算来实现的,所以这里只介绍加、减运算。

(1) 加法运算

两个一位二进制的加法运算规则是:

$$0+0=0 \quad 0+1=1 \quad 1+0=1 \quad 1+1=10 \text{ (向高位进1)}$$

【例 1.8】 计算 $10110011\text{B}+11110001\text{B}$ 的结果。

$$\begin{array}{r} 10110011\text{B} \\ + 11110001\text{B} \\ \hline 110100100\text{B} \end{array}$$

所以, $10110011\text{B}+11110001\text{B}=110100100\text{B}$ 。

(2) 减法运算

两个一位二进制的减法运算规则是:

$$0-0=0 \quad 1-1=0 \quad 1-0=1 \quad 10-1=1 \text{ (向高位借1,借1当2)}$$

【例 1.9】 计算 $10110011\text{B}-10000111\text{B}$ 的结果。

$$\begin{array}{r} 10110011\text{B} \\ - 10000111\text{B} \\ \hline 00101100\text{B} \end{array}$$

所以, $10110011\text{B}-10000111\text{B}=00101100\text{B}$ 。

2. 逻辑运算

计算机中不仅有算术运算,还有逻辑运算,二进制的 1 和 0,在逻辑上代表真和假,一般用 1 表示真,用 0 表示假。最基本的逻辑运算有 3 种,分别是逻辑非、逻辑与和逻辑或。

(1) 逻辑非

逻辑非运算,运算规则为 $\bar{0}=1, \bar{1}=0$,即取反运算,真变假,假变真。

(2) 逻辑与

逻辑与运算,通常用 AND、 $\times$ 、 $\wedge$ 表示,运算规则为 $0 \wedge 1=0, 1 \wedge 0=0, 0 \wedge 0=0, 1 \wedge 1=1$,即只有当两个操作数都为真时结果才为真。

【例 1.10】 计算 $10110011\text{B} \wedge 10000111\text{B}$ 的运算结果。

$$\begin{array}{r} 10110011\text{B} \\ \wedge 10000111\text{B} \\ \hline 10000011\text{B} \end{array}$$

所以, $10110011\text{B} \wedge 10000111\text{B}=10000011\text{B}$ 。

(3) 逻辑或

逻辑或运算,通常用 OR、 $+$ 、 $\vee$ 表示,运算规则为 $0 \vee 1=1, 1 \vee 0=1, 1 \vee 1=1, 0 \vee 0=0$,即只要两个操作数中有一个为真,结果就为真。

【例 1.11】 计算 $10110011\text{B} \vee 10000111\text{B}$ 的运算结果。

$$\begin{array}{r} 10110011\text{B} \\ \vee 10000111\text{B} \\ \hline 10110111\text{B} \end{array}$$

所以, $10110011\text{B} \vee 10000111\text{B}=10110111\text{B}$ 。

2.2 计算机的逻辑组成和工作原理

2.2.1 计算机的逻辑组成

众所周知,世界上第一台电子计算机是诞生于美国宾夕法尼亚大学的 ENIAC,但 ENIAC 缺少一个现代计算机系统必备的部件——存储器。1945 年,美籍匈牙利数学家冯·诺依曼(Von Neumann)领导的设计小组提出了一个全新的存储程序通用电子计算机方案——EDVAC(Electronic Discrete Variable Automatic Computer,电子离散变量自动计算机),明确指出 EDVAC 计算机由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备五大部分组成,即通常所说的计算机的逻辑组成,如图 2-1 所示。

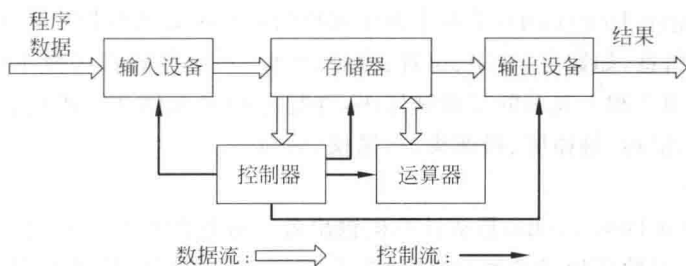


图 2-1 计算机的逻辑组成

1. 运算器

运算器(Arithmetical and Logical Unit, ALU)也叫算术逻辑单元,主要功能是对数据进行各种运算。这些运算除了常规的加、减、乘、除等基本的算术运算之外,还包括能进行“逻辑判断”的逻辑处理能力,即“与”、“或”、“非”这样的基本逻辑运算以及数据的比较、移位等操作。

2. 控制器

控制器(Control Unit, CU)是整个计算机系统的控制中心,它指挥计算机各部分协调地工作,保证计算机按照预先规定的目标和步骤有条不紊地进行操作和处理。

控制器从存储器中逐条取出指令,分析每条指令规定的是什么操作以及所需数据的存放位置等,然后根据分析的结果向计算机其他部分发出控制信号,统一指挥整个计算机完成指令所规定的操作。因此,计算机自动工作的过程,实际上是自动执行程序的过程,而程序中的每条指令都是由控制器来分析执行的,它是计算机实现“程序控制”的主要部件。

运算器和控制器是计算机中直接负责信息处理的两个部件,它们通常被集成在同一块芯片上,合称为中央处理器(Central Processing Unit, CPU)。CPU 承担着计算机中系统软件和应用软件的运行任务,对输入信息进行各种处理,是计算机必不可少的核心部件。

3. 存储器

存储器(Memory Unit, MU)是用来存储程序和各种数据信息的记忆单元。计算机在计算之前,程序和数据通过输入设备送入存储器,计算机开始工作之后,采用按地址访问的方式到存储器中存数据和取数据,即在计算机程序中,每当需要访问数据时,要向存储器送去一个地址,指出数据所在的存储单元的位置,同时发出一个“取出”命令取得所需的数据,