

Chapter

01

计算与计算思维

本章导读

人类一直在追求实现自动计算的梦想，并进行着不懈努力，但关于自动计算的理论直到20世纪才取得突破性成果。本章主要从“演化、模型、抽象”等计算思维概念，讨论计算机的发展历程、计算的理论模型及计算思维的基本概念和方法。

知识列表

- ◎1.1 计算工具
- ◎1.2 计算模型
- ◎1.3 计算思维

1.1 计算工具

计算机的产生和发展经历了漫长的历史进程,在这个过程中,科学家们经过艰难探索,发明了各种各样的计算机器,推动了计算机技术的发展。总体来看,计算机的发展经历了计算工具、计算机器、现代计算机 3 个历史阶段。

1.1.1 早期计算工具

人类最早的计算工具也许是手指和脚趾,因为这些计算工具与生俱来,无须任何辅助设施,具有天然优势;但是手指和脚趾只能实现计算,不能存储,而且局限于 0~20 以内的计算。目前,发现最早使用的记数工具是 2 万年前狼的颞骨,颞骨上“逢五一组”,共有 55 条刻痕。

1. 十进制记数法

在古代世界的记数体系中,除了巴比伦文明的楔形数字为六十进制、玛雅文明为二十进制外,几乎全部为十进制。公元前 3400 年左右,古埃及已有十进制记数法,只不过这些十进制记数体系还没有位值(数的位置不同,表示的值也不同)的概念。

我国在商朝(约公元前 1600—公元前 1046 年)时已经有了比较完备的文字记数系统,在商朝甲骨文中,已经有了一、二、三、四、五、六、七、八、九、十、百、千、万这 13 个记数单字。在商朝某片甲骨上,可以看到将“547 天”记为“五百四旬又七日”,这是最早表明中国人使用十进制记数法的典型案例。

周朝(公元前 1046—公元前 256 年)的十进制已经有了明显的位值概念。如图 1-1 所示为西周早期青铜器大孟鼎,其上的铭文记载:“……庶人六百又五十又九夫,易尸司王臣十又三白人”。另外,根据小孟鼎上的铭文记载:“伐鬼方,……获馘四千八百又二馘。俘人万三千八十一人。俘马□□匹。俘车卅辆。俘牛三百五十五牛”。这里的三、五等数符具有位值记数功能。

2. 算筹

算筹是我国古代最早的计算工具之一,成语“运筹帷幄”中的“筹”就是指算筹。南北朝数学家祖冲之(429—500)借助算筹作为计算工具,成功地将圆周率计算到了小数点后第 7 位。算筹可能起源于周朝,在春秋战国时已经非常普遍了。根据史书记载和考古材料发现,古代算筹实际上是一些差不多长短和粗细的小棍子。



图 1-1 西周大孟鼎铭文
(公元前 1045 年)

3. 九九乘法口诀

我国使用九九乘法口诀（简称九九表）的时间较早，在《荀子》、《管子》、《战国策》等古籍中，能找到“三九二十七”、“六八四十八”、“四八三十二”、“六六三十六”等语句。可见早在春秋战国时，九九表就已经开始流行了。九九表广泛用于筹算中进行乘法、除法、开方等运算，到明代改良用在算盘上。如图 1-2 所示为我国目前发现得最早的九九表实物——湖南湘西出土的秦代木牍，上面详细记录了九九表。与今天的九九表不同，秦代木牍上的九九表不是从“一一得一”开始，而是从“九九八十一”开始，到“二半而一”结束。



图 1-2 秦代木牍(公元前 221—公元前 206 年)

位值概念和九九表后来传入高丽、日本等东方国家，又经过丝绸之路传到印度、波斯，继而流行全世界。十进制位值的概念和九九表是古代中国对世界文化的一项重要贡献。

九九表的算法特点是：九九表只用 1~10 这 10 个数字；九九表包含了乘法的可交换性，因此只需要“八九七十二”，不需要“九八七十二”；九九表只有 45 项口诀，而古代玛雅人采用二十进制，理论上乘法表有 $(19 \times 20) / 2 = 190$ 项口诀（目前无文物佐证）。在 13 世纪之前，欧洲人计算乘法、除法时十分辛苦，能够除一个大数的人，被视为数学家。13 世纪初，中国的计算方法通过阿拉伯人传入欧洲，欧洲人学习到了这种先进的计算技术。

4. 算盘

算盘一词并不专指中国算盘。从文献资料看，许多文明古国都有过各种算盘。古今中外的各式算盘大致分为 3 类：沙盘类、算板类、穿珠类，如图 1-3 所示。

穿珠算盘是我国古代的重要计算工具，在世界计算工具发展中具有非常重要的地位，美国加州计算机历史博物馆展厅入口处就是一个大算盘。从计算技术角度看，算盘主要有以下进步：一是建立了一套完整的算法规则，如“三下五去二”；二是具有临时存储功能（类似于内存），能连续运算；三是出现了五进制，如上档一珠当五；四是制作简单，携带方便。2013 年，我国的穿珠算盘被联合国公布为人类非物质文化遗产。

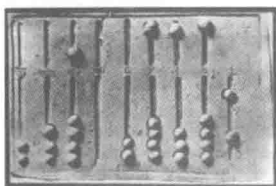


图 1-3 古希腊算板(公元前 800 年)和我国《清明上河图》中的穿珠算盘(1101 年)

1.1.2 机械式计算机

算盘作为主要计算工具流行了相当长一段时间,直到17世纪,欧洲科学家兴起了计算机研究热潮。当时,法国数学家笛卡儿(Rene Descartes,1596—1650)曾经预言“总有一天,人类会造出一些举止与人一样‘没有灵魂的机械’来”。

1. 帕斯卡加法器

1642年,法国数学家帕斯卡(Blaise Pascal,1623—1662)制造了第一台能进行6位十进制加法运算的机器(见图1-4),该机器在巴黎博览会展出期间引起了轰动。加法器发明的意义远远超出了机器本身的使用价值,它证明了以前认为需要人类思维的计算过程,完全能够由机器自动化实现,从此欧洲兴起了制造“思维工具”的热潮。帕斯卡在著作《静思录》中写到“算术机器提供了关于哪种方法比动物行为更接近思维的一些印象”。

2. 巴贝奇自动计算机器

(1) 差分机的设计和制造

18世纪末,法国数学界调集了大批数学家组成人工手算流水线,经过长期地艰苦奋斗,终于完成了17卷《数学用表》的编制;但是手工计算的数据出现了大量错误,这件事情强烈刺激了英国剑桥大学著名数学家巴贝奇(Charles Babbage,1791—1871)。巴贝奇经过整整10年的研制工作,于1822年成功研制出了第一台差分机,如图1-5所示。

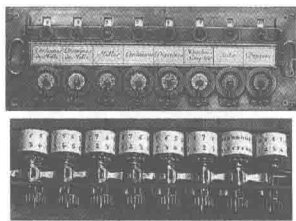


图1-4 帕斯卡发明的加法器和它的内部齿轮结构(1642年)

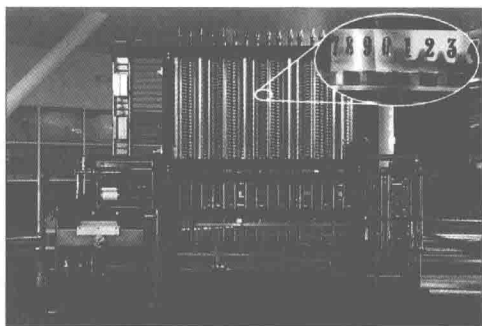


图1-5 巴贝奇发明的差分机的现代复原模型(1822年)

巴贝奇的基本想法是利用机器将计算到印刷表格的过程全部自动化,全面消除人为错误(如计算错误、抄写错误、校对错误、印制错误等)。差分机是一种专门用来计算特定多项式函数值的机器,“差分”的含义是将函数表的复杂计算转化为差分运算,用简单的加法代替平方运算,快速编制出对数和三角函数数学用表。

(2) 分析机的基本结构

1837年,巴贝奇辞去了剑桥大学教授职务,开始专心设计一种由程序控制的通用分析机。巴贝奇先后提出过大约30种不同的分析机设计方案,并对各种方案都绘制出了图纸,图纸上的零件数量多达几万个。巴贝奇希望分析机能自动计算有100个变量的复杂算题,每个数达25位,速度达到每秒运算一次。

巴贝奇的分析机设计方案已经具备了现代计算机的基本特征。分析机由蒸汽机驱动,大约有30米长、10米宽。分析机由3部分构成,第1部分是保存数据的齿轮式寄存器,巴贝奇称其为“堆栈”(store)。分析机具有存储器的概念,它的“内存”大约可以存储1000个50位的十进制数(大约20.7KB)。第2部分是对数据进行各种运算的装置,巴贝奇将其命名为“工场”(Mill),它包含一个算术运算单元,可以进行四则运算、比较和求平方根运算。为了加快运算速度,巴贝奇设计了进位机构。第3部分是对操作进行程序控制,并对数据及输出结果加以选择的装置。分析机采用十进制记数,使用穿孔卡片作为程序输入,可以运行包含“条件”、“循环”等语句的程序,这台机器的编程语言类似今天的汇编语言。

(3) 巴贝奇对计算机发明的贡献

图灵在《计算机与智能》一文中评价道:“分析机实际上是一台万能数字计算机”。巴贝奇以他天才的思想,划时代地提出了类似于现代计算机的逻辑结构,他因此被人们公认为计算机之父。分析机的特征是,它把抽象的代数关系看成可以由机器实现的实体,而且可以机械地操作这些实体,最终通过机器得出计算结果。这实现了最初由亚里士多德和莱布尼兹描述的“形式的抽象和操纵”。

在多年研究和制造实践中,巴贝奇写出了世界上第一部计算机专著《分析机概论》。分析机的设计理论非常先进,它是现代程序控制计算机的雏形。不幸的是,这台分析机直到巴贝奇去世也没有制造出来,巴贝奇也因此而家财散尽,声名败落,贫困潦倒而终。

3. 爱达与程序设计

爱达(1815—1852)是著名英国诗人拜伦之女,她对数学有极高的兴趣。1842年,爱达花了9个月时间翻译意大利数学家米那比亚(Luigi Menabrea)论述巴贝奇著作《分析机概论》写的备忘录。在爱达译文里,她附加了许多注记,她指出分析机可以像提花机那样进行编程,并详细说明了用机器进行伯努利数运算的过程。这被认为是世界上第一个计算机程序(见图1-6),因此,爱达也

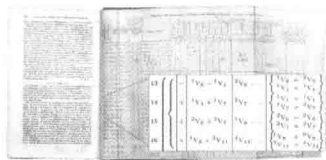


图1-6 爱达对伯努利数的差分运算过程是世界上第一个计算机程序(1842年)

被公认为世界上第一位程序设计师。

爱达协助巴贝奇完善了分析机的设计,她发现了编程的基本要素,她建立了循环和子程序的概念。爱达在对分析机进行研究时,先后编写了三角函数程序、级数相乘程序、伯努利函数程序等一大批算法代码。爱达还创造了许多巴贝奇也未曾提到的新构想。例如,爱达曾经预言:“这个机器未来可以用于排版、编曲或是各种更复杂的用途”。



1.1.3 现代计算机

1. 现代计算机科学先驱

现代计算机是指利用电子技术代替机械或机电技术的计算机。现代计算机经历了70多年的发展,其中最重要的代表人物有英国科学家图灵(Alan Mathison Turing, 1912—1954)和美籍匈牙利科学家冯·诺依曼(John von Neumann, 1903—1957)。图灵是计算机科学理论的创始人,冯·诺依曼是计算机工程技术的先驱人物,如图1-7所示。美国计算机协会(ACM)1966年设立了“图灵奖”,奖励那些对计算机事业做出重要贡献的个人;国际电子和电气工程师协会(IEEE,读为I3E)于1990年设立了“冯·诺依曼奖”,目的是表彰在计算机科学和技术上具有杰出成就的科学家。



1936年,图灵在具有划时代意义的论文《论可计算数及其在判定问题中的应用》中,论述了一种理想的通用计算机,被后人称为图灵机。1950年,图灵发表了著名论文《计算机器与智能》,论文指出,如果机器对于质询的响应与人类做出的响应完全无法区别,那么这台机器就具有了智能。这一论断称为图灵测试,它奠定了人工智能的基础。

图灵不只是一位抽象数学家,他还是一位擅长电子技术的工程专家,第二次世界大战期间,他是英国密码破译小组的主要成员。冯·诺依曼生前曾多次谦虚地说:“如果不考虑查尔斯·巴贝奇等人早先提出的有关思想,现代计算机的概念当属于阿兰·图灵”,由此可见图灵对计算机科学影响巨大。

2. ABC 计算机

第一台现代电子数字计算机是ABC(Atanasoff-Berry computer,阿塔纳索夫-贝瑞计算机),它是由美国爱荷华州立大学物理系副教授阿塔纳索夫(John Vincent Atanasoff)和他的研究生克利福特·贝瑞(Clifford Berry)在1939年10月研制成功(见图1-8)的。

101报告

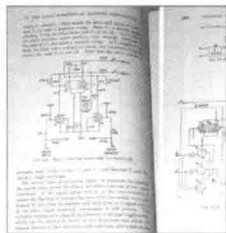


图1-7 图灵和冯·诺依曼

1990年,阿塔纳索夫获得了全美最高科技奖——国家科技奖。

ABC计算机采用二进制电路进行运算;存储系统采用不断充电的电容器,具有数据记忆功能;输入系统采用了IBM公司的穿孔卡片;输出系统采用高压电弧烧孔卡片。

阿塔纳索夫提出了现代计算机设计的最重要的3个基本原则。

- ①以二进制方式实现数字运算和逻辑运算,以保证运算精度。
- ②利用电子技术实现控制和运算,以保证运算速度。
- ③采用计算功能与存储功能的分离结构,以简化计算机设计。

3. ENIAC 计算机

1943年,美国因新式火炮弹道计算需要运算速度更快的计算机,宾夕法尼亚大学莫尔学院36岁的莫克利(John Mauchly)教授和他的学生埃克特(Presper Eckert),向军方代表戈德斯坦(Herman H. Goldstine)提交了一份研制ENIAC(electronic numerical integrator and calculator,电子数字积分计算机)计算机的设计方案,军方提供了48万美元的经费资助。1946年,莫克利成功研制出了ENIAC计算机。ENIAC计算机采用了18000多个电子管,10000多个电容器,7000多个电阻,1500多个继电器,耗电量约为150kW,重量达30t,占地面积为170m²。

莫克利在设计ENIAC计算机之前拜访过阿塔纳索夫,并一起讨论过ABC计算机的设计经验,阿塔纳索夫将ABC计算机的设计笔记送给了莫克利,因此莫克利在ENIAC计算机设计中采用了全电子管电路,但是没有采用二进制。ENIAC计算机的程序采用外插线路连接,以拨动开关和交换插孔等形式实现。ENIAC计算机采用电子管作为基本电子元件,用了18800个电子管,每个电子管大约有一个灯泡那么大;它没有存储器,只有20个10位十进制数的寄存器;输入、输出设备有穿孔卡片、指示灯、开关等。利用ENIAC计算机进行一个2s的运算,需要两天时间进行准备工作,为此埃克特与同事们讨论过“存储程序”的设计思想,遗憾的是没有形成文字记录。

ENIAC计算机的任务是分析炮弹轨迹,它能在1s内完成5000次加法运算,也可以在3/1000s的时间内完成两个10位数乘法。美国军方从中尝到了甜头,因为它计算一条炮弹弹道只需要20s,比炮弹飞行速度还快,而此前需要200人手工计算两个月。

4. 冯·诺依曼与EDVAC计算机

1944年,冯·诺依曼专程到莫尔学院参观了还未完成的

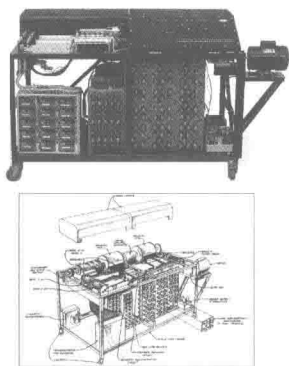


图1-8 ABC计算机的复原模型和设计草图(1939年)

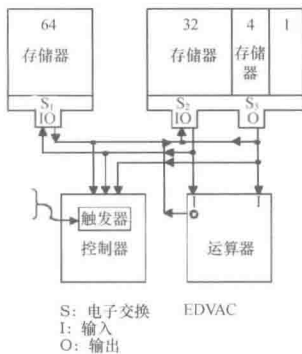
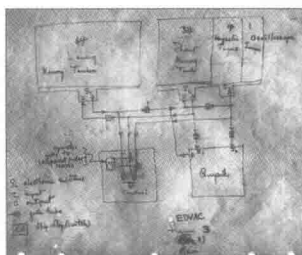


图 1-9 EDVAC 计算机系统
结构设计草图(设计者疑似
冯·诺依曼)

ENIAC 计算机,并参加了为改进 ENIAC 计算机而举行的一系列
专家会议。冯·诺依曼对 ENIAC 计算机的不足之处进行了认真
分析,并讨论了全新的存储程序通用计算机设计方案。当军方要
求设计一台比 ENIAC 计算机性能更好的计算机时,他提出了
EDVAC(electronic discrete variable automatic computer,离散变
量自动电子计算机)计算机设计方案。

1945 年,冯·诺依曼发表了计算机史上著名的 *First Draft
of a Report on the EDVAC* (《EDVAC 计算机报告的第一份草
案》)论文,这篇手稿为 101 页的论文又称为“101 报告”。在“101
报告”中,冯·诺依曼提出了计算机的五大结构及存储程序的设
计思想,奠定了现代计算机的设计基础。一份未署名的 EDVAC 系
统结构设计草图如图 1-9 所示。

1952 年,EDVAC 计算机投入运行,它主要用于核武器理论计
算。EDVAC 的改进主要有两点:为了充分发挥电子元件高速性
能采用了二进制;把指令和数据都存储起来,让机器自动地执行程
序。EDVAC 使用了大约 6 000 个电子管和 12 000 个二极管,占
地 45.5 m²,重达 7.85 t,消耗电力 56 kW。EDVAC 利用水银延
时线作为内存,可以存储 1 000 个 44 位的字,用磁鼓作辅存,具有
加、减、乘和软件除的功能,运算速度比 ENIAC 提高了 240 倍。

5. 现代计算机的发展

现代计算机诞生后,基本元件经历了电子管、晶体管、中小规
模集成电路、大规模和超大规模集成电路 4 个发展阶段(有些教材
认为它们是 4 代计算机)。计算机运算速度显著提高,存储容量大
幅增加。同时,软件技术也有了较大发展,出现了操作系统、编译
系统、高级程序设计语言、数据库等系统软件,计算机应用开始进
入到许多领域。

1.1.4 计算机的类型

计算机工业的迅速发展,导致了计算机类型的一再分化。从
产品组成部件来看,计算机主要采用半导体集成电路芯片;从产品
形式来看,市场典型产品为 PC(个人计算机)和智能手机。

1. 计算机的定义

现代计算机是一种在程序控制下,自动高速进行计算和信息
转换工作,并且具有信息存储能力、友好交互界面的数字化信息处
理设备。

计算机由硬件系统和软件系统两大部分组成。硬件系统由一
系列电子元件按照设计的逻辑关系连接而成,硬件是计算机系统

的物质基础。软件系统由操作系统和各种应用软件组成,计算机软件管理和控制硬件设备按照预定的程序运行和工作。

2. 计算机的类型

IEEE 在 1989 年将计算机分为巨型计算机、小巨型计算机、主机、小型计算机、工作站、个人计算机 6 种类型。这种按计算性能分类的方法会随时间而改变,如 1990 年的巨型计算机并不比目前的微型计算机计算能力强。如果根据计算性能分类,就必须根据计算性能的不断提高而随时改变分类,这显然是不合理的,尤其是计算机集群技术的发展,使得大、中、小型计算机之间的界限变得模糊不清。

计算机产业发展迅速,技术不断更新,性能不断提高,因此,很难对计算机进行精确的类型划分。如果按照目前计算机产品的市场应用情况,大致可以分为大型计算机、微型计算机、嵌入式计算机等类型,如图 1-10 所示。

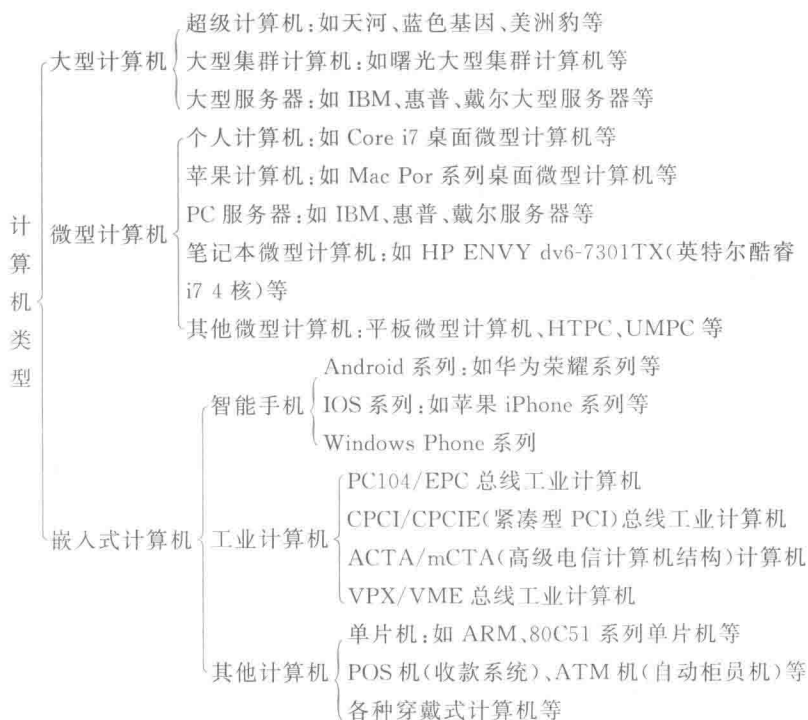


图 1-10 计算机的基本类型

3. 大型计算机

(1) 计算机集群技术

大型计算机主要用于科学计算、军事、通信、金融等大型计算项目等。计算机集群的价格只有专用大型计算机的几十分之一,因此大型计算机都采用集群结构(占 95%以上),只有极少的大型计算机采用专用系统结构。

计算机集群(cluster)技术是将多台(几台到上万台)独立计算机(PC服务器),通过高速局域网组成一个机群,并以单一系统模式进行管理,使多台计算机像一台超级计算机那样统一管理和并行计算,如图1-11所示。集群中运行的单台计算机并不一定是高档计算机,但集群系统却可以提供高性能不停机服务。集群中每台计算机都承担部分计算任务,因此整个系统的计算能力非常高。同时,集群系统具有很好的容错功能,当集群中某台计算机出现故障时,系统可对这台计算机进行隔离,并通过各台计算机之间的负载转移机制,实现新的负载均衡,同时向系统管理员发出故障报警信号。

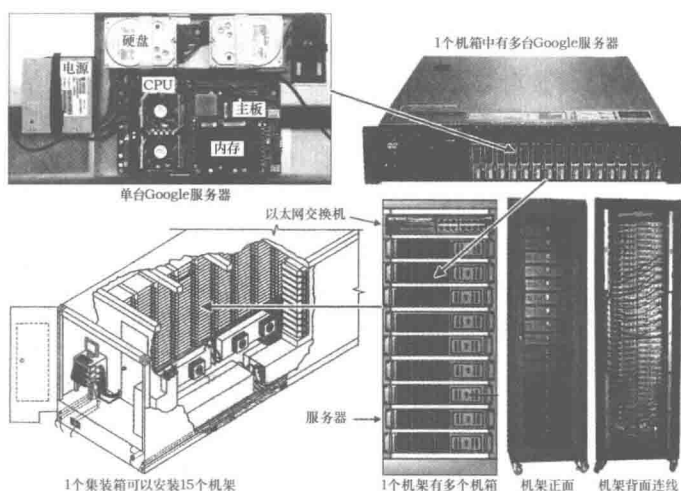


图1-11 Google 集装箱式计算机集群系统

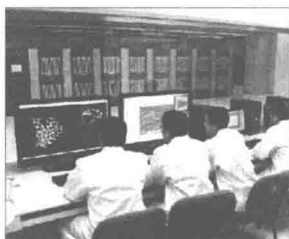


图1-12 “天河2号”超级计算机集群系统

计算机集群一般采用 Linux 操作系统和集群软件实现并行计算,集群的扩展性很好,可以不断向集群中加入新计算机。计算机集群提高了系统的稳定性和数据处理能力。

(2) 超级计算机系统

如图1-12所示是由我国国防科技大学研制的“天河2号”(Tianhe-2)超级计算机,2015年第4次蝉联世界500强计算机第1名。“天河2号”的峰值计算速度为274PetaFLOPS(千万亿次浮点运算/秒),持续计算速度为33.86PetaFLOPS。“天河2号”的造价达1亿美元,整个系统占地面积达720m²,整机功耗为17.8MW。

“天河2号”共有16000个计算节点,安装在125个机柜内;每个机柜容纳4个机框,每个机框容纳16块主板,每个主板有2个计算节点;每个计算节点配备2颗Intel Xeon E5 12核心的CPU(中央处理器),3个Xeon Phi 57核心的协处理器(运算加速卡)。累计3.2万颗Xeon E5主处理器和4.8万个Xeon Phi协处理器,共312万个计算核心。

“天河2号”的每个计算节点有64 GB主存,每个协处理器板载8 GB内存,因此每个节点共有88 GB内存,整体内存总计为1 375TB。硬盘阵列容量为12.4 PB。“天河2号”使用光电混合网络传输技术,由13个大型路由器通过576个连接端口与各个计算节点互联。“天河2号”采用麒麟操作系统(基于Linux)。

4. 微型计算机

1971年,Intel公司推出了400x系列芯片,Intel公司将这套芯片称为MCS-4微型计算机系统,最早提出了微型计算机这一概念。但是,这仅仅是一套芯片而已,当时并没有组成一台真正意义上的微型计算机。以后,人们将装有微处理器芯片的机器称为微型计算机,简称微机。

(1) 台式 PC 系列计算机

大部分个人计算机采用Intel公司CPU作为核心部件,凡是能够兼容IBM PC的计算机产品都称为PC机。目前,台式计算机基本采用Intel和AMD公司的CPU产品,这两个公司的CPU兼容Intel公司早期的80x86系列CPU产品,因此也将采用这两家公司CPU产品的计算机称为x86系列计算机。

如图1-13所示,台式计算机在外观上有立式和一体化两种类型,它们在性能上没有区别。台式计算机主要用于企业办公和家庭应用,因此要求有较好的多媒体功能。台式计算机应用广泛,应用软件也最为丰富,这类计算机有很好的性价比。

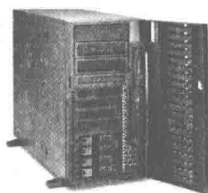
(2) PC 服务器

如图1-14所示,PC服务器往往采用机箱式、刀片式和机架式。机箱式PC服务器体积较大,便于今后扩充硬盘等I/O设备;机架式PC服务器体积较小,尺寸标准化,扩充时在机柜中再增加一个机架式服务器即可。PC服务器一般运行在Windows Server或Linux操作系统下,在软件和硬件上都与其他PC机兼容。PC服务器硬件配置一般较高。例如,它们往往采用高性能CPU,如英特尔“至强”系列CPU产品,甚至采用多CPU结构;内存容量一般较大,而且要求具有ECC(错误校验)功能;硬盘也采用高转速和支持热拔插的硬盘。大部分服务器需要全年不间断工作,因此往往采用冗余电源、冗余风扇。PC服务器主要用于网络服务,因此对多媒体功能几乎没有要求,但是对数据处理能力和系统稳定性有很高的要求。

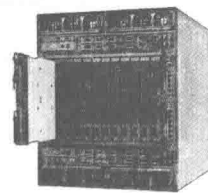
目前,PC在各个领域都取得了巨大成功,PC成功的原因是拥有海量应用软件,以及优秀的兼容能力,而高性价比在很长一段时间里都是PC的市场竞争法宝。



图 1-13 x86 系列立式计算机(上)和一体化计算机(下)



(a) 机箱式服务器



(b) 刀片式服务器



(c) 机架式服务器

图 1-14 各种形式的 PC 服务器



图 1-15 早期的笔记本计算机
(1984年)和目前的笔记本
计算机

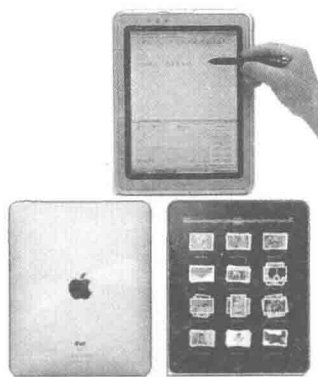


图 1-16 微软公司的平板计算
机(上)和苹果公司的 iPad

(3) 笔记本计算机

笔记本计算机主要用于移动办公,因此具有短小轻薄的特点。近年来流行的“上网本”和“超级本”都是笔记本计算机的一种类型。笔记本计算机在软件上与台式计算机完全兼容,在硬件上虽然按照 PC 设计规范制造,但由于受到体积限制,不同厂商之间的产品不能互换,硬件兼容性较差。笔记本计算机与台式计算机在相同配置下,笔记本计算机的性能要低于台式计算机,价格也要高于台式计算机。笔记本计算机的屏幕在 10~15 in 之间,重量在 1~3 kg 之间,笔记本计算机一般具有无线通信功能。笔记本计算机如图 1-15 所示。

(4) 平板计算机

平板计算机(Tablet PC)最早由微软公司于 2002 年推出。平板计算机是一种小型的、方便携带的个人计算机,如图 1-16 所示。平板计算机在外观上只有杂志大小,目前主要采用苹果和安卓操作系统,它以触摸屏作为基本操作设备,所有操作都通过手指或手写笔完成,而不是传统的键盘或鼠标。平板计算机一般用于阅读、上网、简单游戏等。平板计算机的应用软件专用性强,这些软件不能在台式计算机或笔记本计算机上运行,普通计算机上的软件也不能在平板计算机上运行。

5. 嵌入式计算机

(1) 嵌入式系统

嵌入式系统是为特定应用而设计的专用计算机系统。“嵌入”是将微处理器设计和制造在某个设备内部的意思。嵌入式系统是一个外延极广的名词,凡是与工业产品结合在一起,并且具有计算机控制的设备都可以称为嵌入式系统,如图 1-17 所示。



图 1-17 嵌入式系统在商业和工业领域的应用

嵌入式系统一般由嵌入式计算机和执行装置组成,嵌入式计算机是整个嵌入式系统的核心。执行装置也称为被控对象,它可以接收嵌入式计算机发出的控制命令,执行规定操作或任务。执行装置可以很简单,如手机上的一个微型电机,当手机处于震动接

收状态时打开;执行装置也可以很复杂,如 SONY 公司的智能机器狗,它集成了多个微型控制电机和多种传感器,从而可以执行各种复杂的动作和感受各种状态信息。

(2) 智能手机

早期的手机是一种通信工具,用户不能安装程序,信息处理功能极为有限。智能手机打破了这些限制,它完全符合计算机关于程序控制和信息处理的定义,而且形成了丰富的应用软件市场,用户可以自由安装各种应用软件。智能手机作为一种大众化的计算机产品,性能越来越强大,应用领域越来越广泛。

智能手机是指具有完整的硬件系统和独立的操作系统,用户可以自行安装第三方服务商提供的程序,并可以实现无线网络接入的移动计算设备。智能手机的名称主要是针对手机功能而言的,并不意味着手机有很强大的“智能”。

智能手机既方便随身携带,又为第三方软件提供了性能强大的计算平台,因此是实现移动计算、普适计算的理想工具。很多信息服务可以在智能手机上展开,如个人信息管理(如日程安排、任务提醒等)、网页浏览、电子阅读、交通导航、程序下载、股票交易、移动支付、移动电视、视频播放、游戏娱乐等。结合 4G(第4代移动通信)网络的支持,智能手机势必成为一个功能强大的,集通话、短信、网络接入、影视娱乐为一体的综合性个人计算设备。

世界上公认的第一部智能手机 IBM Simon(西蒙)诞生于 1993 年(见图 1-18),由 IBM 与 BellSouth 公司合作制造。它集当时的手提电话、个人数字助理(PDA)、传呼机、传真机、日历、行程表、世界时钟、计算器、记事本、电子邮件、游戏等功能于一身。IBM Simon 最大的特点是没有物理按键,完全依靠触摸屏操作,它采用 ROM-DOS 操作系统,只有一款名为 DispatchIt 的第三方应用软件。

据统计,到 2016 年年底,我国大陆的智能机出货量达到了 21 亿部。

(3) 工业计算机

工业计算机采用工业总线结构,它广泛用于工业、商业、军事、农业、交通等领域的过程控制和过程管理。

工业计算机有 CPU、内存、硬盘、外设及接口等硬件设备,并有实时操作系统、网络和通信协议、应用程序等软件系统。工业计算机的发展经历了 20 世纪 80 年代的 STD 总线工业计算机,90 年代的 PC104 总线工业计算机,21 世纪初期的 CompactPCI(紧凑型外设并行总线)总线工业计算机,以及目前的 CompactPCI-E、AdvancedTCA(先进电信计算机结构)等工业计算机。各种工业



图 1-18 Apple Newton、IBM Simon 和目前的智能手机

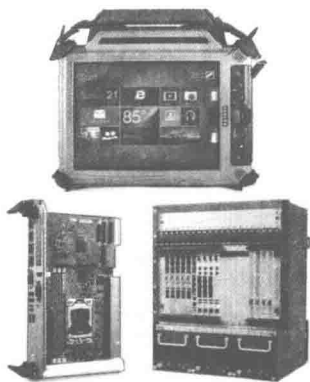


图 1-19 各种工业计算机

计算机如图 1-19 所示。

工业计算机的工作环境恶劣,往往工作在粉尘、烟雾、潮湿、震动、腐蚀等环境中,因此对系统的可靠性要求高。工业计算机对生产过程进行实时在线检测与控制,需要对工作状况的变化给予快速响应,因此对实时性要求较高。工业计算机有很强的输入、输出功能,可扩充符合工业总线标准的检测和控制板卡,完成工业现场的参数监测、数据采集、设备控制等任务。早期工业计算机往往采用专用的硬件结构、软件系统、网络系统等技术,而目前的工业计算机越来越 PC 化,如采用 Intel Core CPU,采用 PCI-E 总线,采用主流操作系统,采用工业以太网,支持主流编程语言等。

1.2 计算模型

1.2.1 图灵机计算模型

1. 图灵机的基本结构

1936 年,图灵发表了《论可计算数及其在判定问题中的应用》论文。论文中,图灵构造了一台抽象的“计算机”,计算机科学家称它为图灵机。图灵机是一种结构十分简单但计算能力很强的计算模型,它可以用来计算所有能想象到的可计算函数。

如图 1-20 所示,图灵机由控制器(P)、读写头(R/W)和存储带(M)组成。其中,存储带是一个无限长的带子,可以左右移动,带子上划分了许多单元格,每个单元格中包含一个来自有限字母表的符号。控制器中包含了一套控制规则和一个状态寄存器,控制规则就是一个图灵机程序,状态寄存器则记录了机器当前所处的状态及下一个新状态。读写头则指向存储带上的单元格,负责读出和写入存储带上的符号。

图灵机的工作原理是:存储带每移动一格,读写头就读出存储带上的符号,然后传送给控制器;控制器根据读出的符号及寄存器中机器当前的状态(条件),查询应当执行程序的哪一条指令,然后根据指令要求,将新符号写入存储带(动作),以及在寄存器中写入新状态;读写头根据程序指令改写存储带上的符号,最终计算结果就在存储带上。

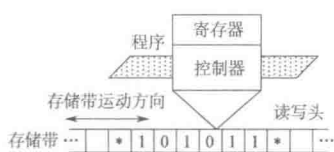


图 1-20 图灵机基本结构

2. 专用图灵机的运算过程

图灵机怎样进行运算呢? 我们下面构造一个用于进行二进制数 $f(x)=(x+1)$ 运算的专用图灵机, 从而简单说明图灵机的工作原理。

(1) 图灵机的程序设计

例 1-1 设计一个可直观计算函数 $f(x)=(x+1)$ 的图灵机程序, 要求计算完成时读写头回归原位。图灵机程序如表 1-1 所示。

表 1-1 计算函数 $f(x)=(x+1)$ 的图灵机程序

程序指令	条件		动作		
	寄存器当前状态	存储带当前值	存储带新值	存储带移动	寄存器新状态
0	初始	*	*	不动	启动
1	启动	*	*	右移	加法
2	加法	0	1	左移	返回
3	加法	1	0	右移	进位
4	加法	*	*	左移	停机
5	进位	0	1	左移	返回
6	进位	1	0	右移	进位
7	进位	*	1	右移	溢出
8	溢出	空	*	左移	返回
9	返回	1	1	左移	返回
10	返回	0	0	左移	返回
11	返回	*	*	不动	停机

(2) 初始化图灵机

首先在图灵机存储带上写入 x 值, 为了简单说明起见, 我们假设 $x=5=[101]_2$ (当然图灵机并不知道 $x=?$), 然后将图灵机读写头的起始位置置于最右端的“*”单元格。

(3) 图灵机的运算过程

步骤 1: 图灵机启动后, 首先执行指令 0, 这时控制器读出寄存器当前状态为“初始”, 读写头读出当前存储带的内容为“*”; 因此控制器根据当前的条件, 执行程序(见表 1-1)的指令 0, 即读写头在存储带写入“*”, 读写头不动, 并将寄存器新状态设置为“启动”, 此时图灵机状态如图 1-21 所示。

步骤 2: 控制器读出当前寄存器状态为“启动”, 读写头读出当前存储带的内容为“*”; 因此控制器根据当前条件, 执行程序中的指令 1, 即在存储带写入“*”, 然后存储带向右移一格, 并将寄存器新状态设置为“加法”, 此时图灵机状态如图 1-22 所示。

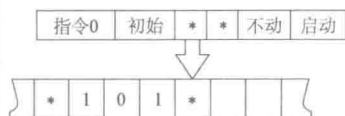


图 1-21 $x+1$ 图灵机
初始化状态

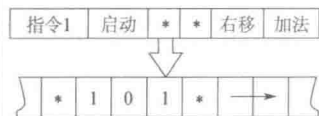


图 1-22 指令 1 执行后
的状态

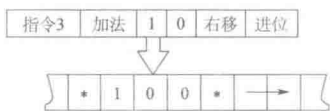


图 1-23 指令 3 执行后的状态

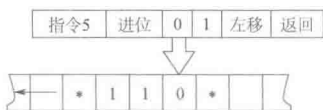


图 1-24 指令 5 执行后的状态

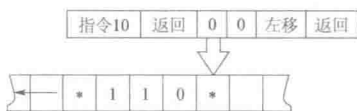


图 1-25 指令 10 执行后的状态

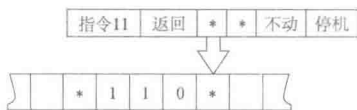


图 1-26 指令 11 执行后的状态
(停机)

步骤 3: 控制器读出当前寄存器状态为“加法”, 读写头读出当前存储带的内容为“1”; 图灵机根据当前条件, 执行程序中的指令 3, 即在存储带写入“0”, 存储带向右移一格, 并将寄存器新状态设置为“进位”, 此时图灵机状态如图 1-23 所示。

步骤 4: 控制器读出当前寄存器的状态为“进位”, 读写头读出当前存储带的内容为“0”; 因此控制器根据当前的条件, 执行程序中的指令 5, 即在存储带写入“1”, 存储带向左移一格, 并将寄存器新状态设置为“返回”(x+1 运算已经完成), 此时图灵机状态如图 1-24 所示。

步骤 5: 控制器读出当前寄存器的状态为“返回”, 读写头读出当前存储带的内容为“0”; 因此控制器根据当前条件, 执行程序中的指令 10, 即在存储带写入“0”, 存储带向左移一格, 并将寄存器新状态设置为“返回”, 此时图灵机状态如图 1-25 所示。

步骤 6: 控制器读出当前寄存器的状态为“返回”, 读写头读出当前存储带的内容为“*”; 因此控制器根据当前的条件, 执行程序中的指令 11, 即在存储带写入“*”, 存储带不移动, 并将寄存器新状态设置为“停机”, 此时图灵机状态如图 1-26 所示。图灵机完成计算工作, 进入停机状态, 存储带上的内容就是计算的答案。

以上图灵机是一个专用的图灵机, 它只能进行 $x+1$ 的运算, 它的运行过程就是不断执行程序的过程。

3. 图灵机的特点

在上面案例中, 图灵机使用了“0, 1, * ”等符号, 可见图灵机由有限符号构成。

如果图灵机的符号表有 11 个符号, 如 { 0, 1, ..., 9, * }, 那么图灵机就可以用十进制来表示整数; 但这时的程序要长得多, 确定当前指令要花更多的时间。符号表中的符号越多, 用机器表示的困难就越大。

图灵机可以依据程序对符号表要求的任意符号序列进行计算, 因此, 同一个图灵机可以进行规则相同、对象不同的计算, 具有数学上函数 $f(x)$ 的计算能力。

如果图灵机初始状态(读写头的位置、寄存器的状态)不同, 那么计算的含义与计算的结果就可能不同。每条指令进行计算时, 都要参照当前的机器状态, 计算后也可能改变当前的机器状态, 而状态是计算机科学中非常重要的一个概念。

在图灵机中, 虽然程序按顺序来表示指令序列, 但是程序并非顺序执行。因为指令中关于下一状态的指定, 说明了指令可以不按程序的顺序执行。这意味着, 程序的 3 种基本结构——顺序、判断、循环在图灵机中得到了充分体现。

专用图灵机将计算对象、中间结果和最终结果都保存在存储带上, 程序保存在控制器中。这意味着程序与数据分离。由于控

制器中的程序是固定的,那么专用图灵机只能完成规定的计算(输入可以多样化)。通用图灵机可以把程序也放在存储带上(程序和数据混合在一起),而控制器中的程序能够将存储带上的指令逐条读进来,再按照要求进行计算。

4. 图灵机的重大意义

图灵机不是一种具体的机器,它是一种理论思维模型。图灵机完全忽略了计算机的硬件特征,考虑的核心是计算机的逻辑结构。图灵机是一个理想的计算模型,或者说是一种理想中的计算机,本身并没有直接带来计算机的发明。

图灵机是对计算本质的认识,它可以分析什么是可计算的,什么是不可计算的。一个问题能不能解决,在于能不能找到一个解决这个问题算法,然后根据这个算法编制程序在图灵机上运行,如果图灵机能够在有限步骤内停机,则这个问题就能解决;如果找不到这样的算法,或者这个算法在图灵机上运行时不能停机,则这个问题无法用计算机解决。

图灵指出:“凡是能用算法解决的问题,也一定能用图灵机解决;凡是图灵机解决不了的问题,任何算法也解决不了。”

通用图灵机与现代计算机的相同之处是:程序可以和数据混合在一起。图灵机与现代计算机的不同之处在于:图灵机的内存无限大,并且没有考虑输入和输出(所有信息都保存在存储带上)设备。

1.2.2 图灵测试与人工智能

1. 图灵测试

1947年,图灵在一次计算机会议上做了题为“智能机器”的报告,详细地阐述了他关于思维机器的思想,第一次从科学的角度指出:“与人脑的活动方式极为相似的机器是可以制造出来的。”1950年,图灵发表了著名的论文《计算机器与智能》,他逐条反驳了各种机器不能思维的论点,做出了肯定的回答,并在论文中提出了著名的图灵测试。

图灵测试由3人来完成:一个男人(A)、一个女人(B)和一个性别不限的提问者(C)。提问者待在与其他两个测试者相隔离的房间里。图灵测试没有规定问题的范围和提问的标准,测试的目标是,让提问者通过对其他两人的提问,来鉴别其中回答问题的对象是男性还是女性。为了避免提问者通过声音、语调轻易地作出判断,规定提问者和测试者之间只能通过电传打字机进行沟通。

提问者在不知道A、B性别的前提下,可以提问:“请A回答,你头发的长度?”,A为了给提问者造成错觉,他可以回答:“我的头发很长,大约有20厘米”;如果提问者对B提问:“A说的是真的吗?”,那么B可能会回答:“不要相信那个人”之类的回答。

如图1-27所示,如果将上面测试中的男人(A)换成机器,提问者在与机器和女人的回答中作出判断,如果机器足够“聪明”,就能