

计算思维概述

著名计算机科学家、1972 年图灵奖得主 Edsger Dijkstra 曾说过这样一句话：“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我们的思维能力。”事实确是如此，计算工具的发展、计算环境的演变以及计算科学的形成，在不断地改变着计算机科学工作者的思维方法。计算思维就是在当前计算机技术飞速发展的背景下凸显出来的，如何用计算思维的方法来求解问题或进行系统设计，如何培养学生具有计算思维能力已成为当前教学关注的热点问题。本章将从计算机的发展过程来认识计算工具的演变是如何影响人们的思维方式和思维能力，主要介绍有关人的思维方式，以及计算思维的定义和特征，简述用计算思维的方法求解问题的大致过程，为学习后续课程打下基础。

1.1 计算机发展概述

1.1.1 历史回顾

计算机 (Computer) 作为一种计算工具，可追溯到中国古代。早在春秋战国时代 (公元前 770 年至公元前 221 年)，我们的祖先已使用竹子制作的算筹完成计数，唐代时已出现早期的算盘 (数据的表示与存储)，宋代时已有算盘口诀 (计算规则制定和执行) 的记载。17 世纪后，随着西方产业革命的到来，推动了计算工具的进一步发展，在欧洲出现了能实现加、减、乘、除运算的机械式计算机。1944 年，美国物理学家艾肯 (Howard Aiken) 完成了第一台机电式通用计算机，主要组件采用继电器，是一台可编程的自动计算机，可以由机器来自动完成数据的表示与存储、制定计算规则，并自动执行规则。

世界公认的第一台通用电子数字计算机是美国宾夕法尼亚大学莫尔学院电工系莫克利 (John Mauchly) 和埃克特 (J.Presper Eckert) 领导的科研小组建造的，取名为 ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Calculator)，直译为“电子数值积分和计算器”。该计算机由 18 000 多个电子管、1500 多个继电器等组成，占地 170 平方米，重量 30 吨，投资超过 48 万美元。该机器字长为 10 位十进制数，计算速度为 5 000 次/秒，每次至多只能存储 20 个字长为 10 位的十进制数。计算程序是通过“外接”线路实现的，未采用“程序存储”方式。为了在机器上进行几分钟的数字计算，其准备工作要花去几小时甚至 1~2 天的时间，使用很不方便。ENIAC 计算机于 1945 年年底宣告完成，1946 年 2 月 15 日正式举行揭幕典礼，它标志着人类计算工具的历史性变革。

1944年8月至1945年6月是电子数字计算机发展史上智力活动最紧张的收获季节。冯·诺依曼（Von Neuman）与莫尔学院的科研组合作，提出了一个全新的存储程序的通用电子数字计算机方案EDVAC（Electornic Discret Variable Automatic Computer），即“离散变量自动电子计算机”，这就是人们通常所说的冯·诺依曼型计算机。该计算机采用“二进制”代码表示数据和指令，并提出了“程序存储”的概念，奠定了现代电子计算机的基础。1946年7月，莫尔学院在美国海军研究局和陆军军械部的资助下，开办了“电子数字计算机设计的理论和技术”的专门讲座，听讲的有20多个美国和英国机构派来的29位专家。这大大触发了电子计算机的繁荣局面，多台程序存储式计算机同时在美英等国设计与制造，如1949年问世的由英国剑桥大学研制的EDSAC（Electronic Delay Storage Automatic Calculator）、美国的SEAC计算机（1950年）等。冯·诺依曼等人提出的EDVAC计算机，由于设计组内部对发明权的争议致使研制工作进展缓慢，直到1952年才面世，在美国只名列第四。

对计算机的产生做出杰出贡献的另一位科学家是英国剑桥大学的图灵（Alan Turing，1912~1954）。早在1936年，图灵为了解决一个纯数学的基础理论问题，发表了著名的“理想计算机”论文，在该文中提出了现代通用数字计算机的数学模型，后人把它称为“图灵机”。冯·诺依曼在世时，曾不止一次地说过：“现代计算机的设计思想来源于图灵”，且从未说过程序存储型计算机的设计思想是由他本人提出的。图灵在1945年曾研制过ACE计算机，1947年提出了自动程序设计的思想，1950年发表了著名的论文“计算机能思考吗”，对人工智能的研究作出了贡献。

1.1.2 发展现状

自1946年第一台电子计算机问世以来，以构成计算机硬件的逻辑组件为标志，计算机的发展大致经历了从电子管、晶体管、中小规模集成电路到大规模和超大规模集成电路计算机等4个发展阶段，通常称为“四代”计算机，表1-1列出了这四代计算机的硬件、软件及应用简要特征。

表 1-1 四代计算机的简要特征

特征 项目	年代	第一代 1946—1957	第二代 1957—1964	第三代 1964—1972	第四代 1972—至今
逻辑元件		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
存储器		延迟线，磁鼓，磁芯	磁芯，磁带，磁盘	磁芯，磁盘，磁带	半导体，磁盘，光盘
典型机器 举例		IBM—701 IBM—650	IBM—7090 IBM—7094	IBM—370（大型） IBM—360（中型） PDP—11（小型）	ILLIAC—IV（巨型） IBM—3033（大型） VAX—11（小型） 80486（微型） 8098（单片机）
软件		机器语言 汇编语言	高级语言 管理程序	结构化程序设计 操作系统	数据库，软件工程 程序设计自动化
应用		科学计算	数据处理 工业控制 科学计算	系统模拟，系统设计 大型科学计算 科技工程各个领域	事务处理，智能模拟，大型 科学计算，普及到社会生活 各个方面

自进入第四代计算机以来，计算机的硬件与软件技术都获得了惊人的发展。计算机系统

向微型化、巨型化、网络化和智能化的方向发展, 计算机系统软件的功能日趋完善, 规模越来越大, 应用软件的开发日趋简便。多媒体技术的兴起引起计算机应用领域的革命, 人们利用声音、符号、图形、图像技术即可开发计算机的应用。在网络技术的支持下, 信息表达工具(电话、电视、终端)、信息处理工具(计算机)和信息传输工具(有线通信、无线通信及卫星通信)已趋于一体化, 为人类方便地处理信息开辟了更广阔的前景。下面分别介绍计算机在上述各方面的发展概况。

1. 微型计算机

随着微电子技术的发展, 一台计算机的各个组成部分, 甚至整台计算机都可集成在一片大规模或超大规模集成电路芯片上, 这就出现了以微处理器为核心的微型计算机, 简称微型机或微机。自1971年美国Intel公司推出第一台微处理器Intel 4004以来, 微型计算机的发展大致经历了5个阶段。

(1) 第一阶段(1971~1973)。该阶段的典型微处理器有Intel 4004, Intel 8008, 其数据总线为4~8位, 地址线为4~8条。由这些微处理器所组成的微型计算机比较简单, 指令系统不完整, 只支持汇编语言, 无操作系统, 主要用于工业仪表、过程控制或计算器中。芯片采用PMOS工艺, 速度较低。

(2) 第二阶段(1974~1977)。该阶段具有代表性的微处理器有Intel 8080, Intel 8085, M6800, Z80等。它们的数据总线为8位, 地址线为16条。由这些微处理器所组成的微型计算机已有较完整的指令系统, 并配有简单的磁盘操作系统(如CP/M), 支持高级编程语言, 有较强的功能, 出现了个人计算机(PC机)。芯片采用NMOS工艺, 速度较快。

(3) 第三阶段(1978~1981)。该阶段典型的微处理器有Intel 8086, MC68000, Z8000等, 它们的数据总线为16位, 地址线有20~24条。由这些微处理器所组成的微型计算机已吸收传统小型计算机甚至大型计算机的设计思想, 如虚拟存储和存储保护等。已具备较完善的操作系统、高级语言、工具软件和应用软件, 出现了多用户微型计算机系统及多处理机微型计算机系统。

(4) 第四阶段(20世纪80年代初期至中期)。该阶段的代表性微处理器有Intel 80x86(如80286, 80386, 80486), 它们的数据总线为16~32位, 地址线为24~32条。由这些微处理器所组成的微型计算机在芯片、操作系统及总线结构等方面完全开放, 实际上已形成国际性的微型机工业生产的主要标准, 是微型机发展的一个里程碑。这一阶段的微型机已具有菜单式选择功能及图形用户界面, 推动了微型机应用的飞速发展。

(5) 第五阶段(20世纪80年代中后期开始)。该阶段的典型微处理器有Pentium I~Pentium IV, SPARC, Power601, Power60x等, 其数据总线为64位, 地址线为32条。这些微处理器采用了精简指令系统计算机技术(简称RISC技术), 使微处理器的体系结构发生了重大变革。由Intel 80x86发展而来的Pentium微处理器, 尽管是复杂指令系统计算机(CISC), 但它已采用了大量RISC技术, 使指令执行时间大大缩短。RISC微处理器(如SPARC, Power60x)的推出使微型机的运算速度提高到几亿次每秒。RISC技术的采用, 使微型机、小型机和大型机的界限越来越模糊。

微型计算机按组装形式可分为便携式和非便携式两类,前者如笔记本电脑,后者如常见的台式微型机。根据微型计算机是否由最终用户使用,可将微型机分为独立式微型计算机和嵌入式微型计算机。前者可供最终用户直接使用,最常见的是个人计算机;后者则作为一个信息处理部件装入一个应用设备中,最终用户使用的是该设备,如医疗设备、高级录像机、家电产品等,嵌入式微型机一般是单片机或单板机。

人们不断研究集成电路的制造工艺,光刻技术、微刻技术到现在的纳刻技术,使得集成电路的规模越来越大,形成了超大规模集成电路。集成电路的发展就像 Intel 创始人戈登·摩尔(Gordon Moore)预言一样(称之摩尔定律):“当价格不变时,集成电路上可容纳的晶体管数目约每隔 18 个月会增加 1 倍,其性能也将提升 1 倍”。截至 2012 年,一个超大规模集成电路芯片上的晶体管数量可达 14 亿只以上。科学家还在不断进行新形式的元器件的研究,发现蛋白质具有 01 控制的特性,它能否被用于制作芯片呢?这种生物芯片在解决一些复杂的计算时是否会有与人一样的计算模式呢?目前生物芯片已经取得不少的成果,其应用价值有待进一步开发。

2. 巨型计算机

尖端科学技术的发展,要求具有超高速、超大容量和高可靠性的计算机,以满足大量复杂的高精度数据计算和处理的要求,这就促进了巨型计算机(Super Computer)的发展。早期典型的巨型计算机如美国的 ILLIAC-IV 型计算机(运算速度 1.5 亿次每秒)、CRAY-1 型计算机(运算速度 1 亿次每秒)。我国于 1983 年研制成功的“银河”计算机,其运算速度超过 1 亿次每秒;1994 年初,研制成功的“曙光一号”并行计算机,其定点运算速度可达 6.4 亿次每秒;2002 年 8 月公布的联想深腾 1800,其运算速度实测为 1.027 万亿次(浮点运算)每秒,这些都标志着我国已跻身世界巨型计算机的先进行列。

超高速的运算能力已成为巨型机的主要指标,而单靠提高电子器件的速度用传统的结构已无法实现上亿次的运算。为此,必须从计算机的系统结构上进行改革,这就出现了巨型机所特有的结构形式,如用多个 CPU 构成一个计算机系统,这就需要研究多 CPU 协同工作的分布式计算、并行计算及多种体系结构等技术。

2010 年 11 月,超级计算机 500 强第一名为中国“天河一号 A”,它有 14336 个 Intel Xeon X5670 2.93GHz 六核处理器,2048 个我国自主研发的飞腾 FT-1000 八核处理器,7168 块 NVIDIA Tesla M2050 高性能计算卡,总计 186368 个核心,224TB 内存。实测运算速度可以达到每秒 2570 万亿次。这意味着,它计算一天相当于一台家用计算机计算 800 年。2011 年 6 月,超级计算机 500 强第一名为日本的 K Computer,运行速度为每秒 8.16 千万亿次浮点计算(Petaflops),它由 68544 个 SPARC64 VIII fx 处理器组成,每个处理器均内置 8 个内核,总内核数量为 548352 个,投资超过 12.5 亿美元。发展高速度、大容量、功能强大的超级计算机,对于进行科学研究、保卫国家安全、提高经济竞争力具有非常重要的意义。诸如气象预报、航天工程、石油勘测、人类遗传基因检测、机械仿真等现代科学技术,以及开发先进的武器、军事作战的谋划和执行、图像处理及密码破译等,都离不开高性能计算机。研制超级计算机的技术水平体现了一个国家的综合国力,已成为各国在高技术领域竞争的热点。

3. 计算机网络

计算机网络（Computer Network）就是把地理上分散的计算机系统、终端和各种形式的数字设备通过通信信道互连在一起而形成的彼此可互相协作的综合信息处理系统。计算机网络本身也经历了从简单到复杂、从低级到高级的发展过程。

第一代计算机网络是单处理中心网络，其基本结构是一台中央计算机通过通信线路连接大量的终端设备，因而也称为“面向终端的计算机网络”，如美国的半自动地面防空系统 SAGE。第二代计算机网络是多处理中心的网络，它由多台计算机和各种数字设备通过通信线路互连在一起，又称为“计算机-计算机网络”，如美国国防部高级研究计划局开发的 ARPA 网。上述两代计算机网络都是由各研究单位、大学或应用部门为自己的应用要求而各自建立的，它们没有统一的网络体系结构，因而要把它们互连起来十分困难，甚至是不可能的。为了适应以信息和知识为主的技术革命的迅猛发展，以实现网络上硬软件资源的高度共享，必须发展新一代的计算机网络，使各种计算机网络遵从统一的标准，从而可方便地实现互连。1984 年，国际标准化组织（ISO）在经过多年努力后，正式提出了“开放系统互连（OSI）参考模型”的国际标准，该模型已得到国际社会的广泛接受和承认，成为新一代计算机网络的体系结构。

随着微型机的广泛应用，以微型机为主体的局域网络（LAN）发展很快，至今已有数百种之多的产品，其中有代表性的是 Ethernet, 3COM, Omninet, Pcnnet, TokenRing 及 Novell 网等。计算机网络的应用正越来越普及，并朝着高速化、全球化和智能化的方向发展。

4. 人工智能与第五代计算机

人工智能（AI: Artificial Intelligence）是研究如何用人工的方法和技术来模仿、延伸和扩展人的智能，以实现某些“机器思维”或脑力劳动自动化的一门学科。例如，应用人工智能的方法和技术，设计和研制各种计算机的“机器专家”系统，可以模仿各行各业的专家，去从事医疗诊断、质谱分析、矿床探查、数学证明和管理决策等脑力劳动工作，完成某些需要人的智能、运用专门知识和经验技巧的任务。为了使机器具有类似于人的智能，需要解决下列三方面的问题。

（1）机器感知——知识获取。研究机器如何直接或间接获取知识及如何输入自然信息（文字、图像、声音、语言、物景）等工程技术方法。

（2）机器思维——知识处理。研究在机器中如何表示知识和存储知识，如何进行知识推理和问题求解等工程技术方法。

（3）机器行为——知识运用。研究如何运用机器所获取的知识，通过知识信息处理，做出反应，付诸行动，以及各种智能机器和智能系统的设计方法和工程实现技术。

“人工智能”这一术语是 1956 年在美国召开的“关于用机器模拟智能”的学术讨论会上首次正式采用的，它标志着人工智能学科的诞生。1969 年，国际人工智能联合会（IJCAI）成立，并决定每两年召开一次国际人工智能学术会议。此后，美、日等国家对人工智能的学科体系实用技术开展了广泛的研究，出现了多种实用的人工智能专家系统，如化学专家系统 DENDRAL、医学专家系统 MYCIN、探矿专家系统 PROSPECTOR 等。1981 年，在日本举行

了“第五代计算机”国际学术会议，为期十年（1982~1991）的“知识信息处理系统（KIPS）”开始研制。日本政府为了实现这一宏伟目标，筹资 1000 亿日元，并专门成立了“新一代计算机技术研究所（简称 ICOT）”。

KIPS（Knowledge Information Processing System）就是人们通常所说的第五代计算机系统（FGCS: Fifth Generation Computer System），又称智能计算机，它由下列各部分组成：

- 知识库（KB: Knowledge Bank）、知识库计算机（KBM: Knowledge Bank Machine）和知识库管理系统（KBMS: Knowledge Bank Management System）。
- 问题求解和推理机。
- 智能接口系统。
- 应用系统。

第五代计算机系统要达到的目标是：

- 用自然语言、图形、图像和文件进行输入/输出。
- 用自然语言进行对话的信息处理方式，为外行使用计算机提供方便。
- 能处理和保存知识，以供使用；配备各种知识数据库，起顾问作用。
- 能够自学习和推理，帮助人类扩展自己的才能。

由以上可知，第五代计算机与传统计算机的主要差别在于：

- 处理的“信息”是“知识”，而不是“数据”。
- “信息”的传送是知识的传送，而不是字符串的传送。
- “信息”的处理是对问题的求解和推理，而不是按既定进程进行计算。
- “信息”的管理是知识的获取和利用，而不是数据收集、积累和检索。

日本的第五代计算机系统研制于 1992 年结束，虽然并未达到预定的目标，但在智能计算机领域中完成了大量的基础研究工作。第五代计算机的研制激起了人工智能热潮，美、英、法等国家都相继制定对策和发展战略，如美国国防部的第五代计算机计划，英国的“阿尔维”计划及法国的“尤利卡”计划等。关于人工智能和新一代计算机的研究、开发和应用已列入许多国家发展战略的议事日程，成为科技发展规划的重要组成部分。

人工智能的实现离我们尚远，但其研究成果已显现出来。几个典型的智能计算的成果是：1997 年 IBM 的“深蓝”计算机以 3.5 : 2.5 的比分战胜了国际象棋特级大师卡斯帕罗夫。2003 年“小深”替换上场，以 3 : 3 的比分“握手言和”。2011 年，IBM 的“沃森”计算机在美国的一次智力竞猜电视节目，成功击败该节目历史上两位最成功的人类选手，能够理解人类主持人以英语提出的如“哪位酒店大亨的肘子戳坏了他自己的毕加索的画，之前这幅画值 139 亿美元，之后只值 8500 万美元”等抽象的问题。

大家都用过搜索引擎（如“百度”或“谷歌”）来进行搜索，输入我们想要的特征关键字后，它的检索结果是否是我们想要的呢？从你第一天使用开始，到今天为止，你是否发现它的检索结果越来越符合我们的期望？这是否有智能计算的影子呢？再有一类智能计算的例

子就是模式识别：指纹识别技术已经得到广泛应用；机器翻译方面也取得了一些进展，计算机辅助翻译极大提高了翻译效率；在输入方面，手写输入技术已经在手机上得到应用；语音输入也在不断完善中。这一切都在向智能人机交互方面发展，即让计算机能够听懂人类的语言，看懂人类的表情，能够像人类一样具有自我学习与提高的能力，能够吸收不同的知识并能灵活运用知识，能够进行如人类一样的思维和推理。

5. 计算机软件技术

由表 1-1 可知，计算机由第一代发展到第四代，其软件也不断地从低级向高级发展。进入 20 世纪 80 年代之后，由于廉价工作站的出现及微机的大量普及，从根本上改变了应用领域的面貌，基于单主机的字符输入让位于网络环境下多媒体界面的应用。微机大量普及使得专门生产微机软件的 Microsoft 公司盈利激增，而使专营大中型计算机的 IBM 公司于 1992 年出现亏损。这些现象说明，危机重重的软件技术又一次受到挑战。基于单主机的顺序程序还没有解决好不可靠、难维护、生产率低下、难于移植和重用等问题，又增加了并发、分布式环境下安全可靠性问题，还要支持 20 世纪 80 年代蓬勃发展起来的多媒体技术。为了迎接这一挑战，软件行业发展了以下技术。

(1) 软件工程环境的大发展。20 世纪 80 年代以来，各种软件工具相对成熟，各种软件制造、销售商都配备了工具集。无论是语言编译、还是数据库、操作系统，动辄就是十几张或几十张高密盘，大量工具和实用程序使所售软件更好用。这种发展的必然后果是产生了一系列新的问题：大量单用途工具如何无冗余、不冲突地集成，如何与软件开发各阶段广泛协调使用，如何提供一个使不同人员（开发者、管理者、用户）都能方便使用的软件工程环境。这导致了计算机辅助软件工程（CASE:Computer Aided Software Engineering）和集成 CASE（I-CASE）技术的发展。CASE 就是软件工程中的 CAD（Computer Aided Design），利用软件工具开发软件可以提高软件的生产率，减少人工编程、测试、修改带来的错误。

(2) 面向对象技术成为焦点。面向对象技术，以其对象的封装性、继承性、多态性和分类抽象，为支持软件工程与管理软件各种成分，保证可修改、可移植、易维护、能重用等目标提供了实现基础。对象体系构成的对象模式结构，实质上是知识表示的框架结构，从而为智能推理与传统软件工程技术的结合架设了桥梁。

(3) 人工智能的成果引入传统软件工程中。人工智能的思想及已成熟的部分成果已用于传统软件工程，如软件开发中的域分析、版本管理中的基于规则推理、信息工程中的决策支持模型、多介质系统中的联想和触发机制等。推理机技术的发展为传统软件局部智能化开辟了新天地，当前多媒体信息的联想切换、海量数据库查找、最优决策都非常需要它。

(4) 软件开发多范型化。基于分阶段的瀑布式软件生存周期模型奠定了 20 世纪 80 年代初软件工程学的基础。在此基础上的规范、标准和工具确实使 20 世纪 70 年代开发的最大的软件（385 万行代码的美国导弹预警系统）在 20 世纪 80 年代上升了一个数量级（航天飞机系统 4000 万行代码）。但人们从 20 世纪 80 年代初期许多大型软件系统的失败中发现，即使是经过严格评审的需求规格说明也是不可靠的，等到开发完成后才发现问题，代价太大，于是“原型开发”模式应运而生。

所谓“原型开发”就是利用已有重用件，很快搭起应用原型“骨架”，让用户及早参与

修改,原型基本通过后再全面开发。20世纪80年代基于可重用库及代码自动生成技术的发展,使第四代语言大量出现,与此相应的第四代开发技术只描述程序“做什么”而不用编写“怎么做”的程序代码,它使软件生产率大幅度提高。随着软件环境的完善,这种开发范型的比重将越来越大,此外,在统一环境下若集成了逻辑型、函数型、数据流型开发工具,则可构成软件开发的多范型化。

1.1.3 发展趋势

计算机科学的发展趋势可归纳“高、广、深”三个方向。

第一个方向是向“高”的方向发展,要求计算机的性能越来越高,速度越来越快。其途径有两个:一是提高器件的速度;另一是采用并行处理。早期人们采用的286、386等型号的CPU,其主频只有几十MHz。之后出现的奔腾系列CPU,其主频可达到2GHz以上。由于RISC技术的成熟与普及,CPU性能的年增长率由20世纪80年代的35%发展到90年代的60%。此外,器件速度还可通过研制新的器件(如生物器件、量子器件等)、采用纳米工艺、片上系统等技术提高几个数量级。

展望未来的计算机,将是微电子技术、光学技术、超导技术和电子仿生技术相互结合的产物。第一台超高速全光数字计算机已由欧盟的英国、法国、德国、意大利和比利时等国的70多名科学家和工程师合作研制成功,光子计算机的运算速度比电子计算机快1000倍。在不久的将来,超导计算机、神经网络计算机等全新的计算机也会诞生。届时计算机将发展到一个更高、更先进的水平。

第二个方向是向“广”度发展。计算机发展的趋势就是无处不在,以至于像“没有计算机一样”。近年来,更明显的趋势是网络化向各个领域的渗透,即在广度上的发展开拓,国外称这种趋势为普适计算(Pervasive Computing)或叫“无处不在”的计算。未来,计算机也会像现在的马达一样,存在于家中的各种电器中,比如记事本、书籍都已电子化;学生们上课用的不再是教科书,而只是一个笔记本大小的计算机,所有的中小学的课程教材、辅导书、练习题都在里面。不同的学生可以根据自己的需要方便地从中查到想要的资料。而且,这些计算机将与现在的手机合为一体,随时随地都可以上网,相互交流信息。未来的计算机会像纸张一样便宜,可以一次性使用。计算机将成为不被人注意的最常用的物品。可见,普适计算把计算和信息融入人们的生活空间,使我们生活的物理世界与在信息空间中的虚拟世界融合成为一个整体。人们生活在其中,可以随时、随地得到信息访问和计算服务,从根本上改变了人们对信息技术的思考,也改变了我们整个生活和工作的方式。普适计算所涉及的技术包括移动通信技术、小型计算设备制造技术、小型计算设备上的操作系统技术及软件技术等。普适计算技术在现在的软件技术中将占据着越来越重要的位置,其主要应用方向有嵌入式技术、网络连接技术、基于Web的软件服务构架。

Google眼镜是由Google公司于2012年4月发布的一款“增强现实”眼镜,具有与智能于机一样的功能,可以通过声音控制拍照、视频通话和辨明方向、上网、处理文字信息和电子邮件等。Google眼镜于2014年4月15日正式在网上限量发售。虽然Google眼镜有诸多非议,但必须承认,它开启了“可穿戴计算机”的时代。

第三个方向是向“深”度发展，即向信息的智能化发展。网上有大量的信息，怎样把这些浩如烟海的东西变成我们想要的知识，这是计算机科学要研究的重要课题。同时要求人机界面更加友好，可以用自然语言与计算机打交道，也可以用手写的文字打交道。甚至可以用表情、手势来与计算机沟通，使人机交流更加方便快捷。电子计算机从诞生起就致力于模拟人类思维，希望计算机越来越聪明，不仅能做一些复杂的事情，而且能做一些需要“智慧”才能做的事，比如推理、学习、联想等。自从1956年提出“人工智能”以来，计算机在智能化方向迈进的步伐不尽如人意。科学家多次关于人工智能的预期目标都没有实现，这说明探索人类智能的本质是一件十分艰巨的任务。目前计算机“思维”的方式与人类思维方式有很大区别，人机之间的间隔还不小。人类还难以自然的方式，如语言、手势、表情与计算机打交道，计算机的易用性已成为阻碍计算机进一步普及的巨大障碍。随着Internet的普及，普通用户使用计算机的需求日益增长，这种强烈需求将大大促进计算机智能化方向的研究。近几年来，计算机识别文字（包括印刷体、手写体）和口语的技术已有较大提高，初步达到商业化水平，手势（特别是哑语手势）和脸部表情识别也已取得较大进展。使人沉浸在计算机世界的虚拟现实（Virtual Reality）技术是近几年来发展较快的技术，未来将会更加迅速地发展。

1.2 什么是计算思维

1.2.1 计算机的发展与思维方式的变化

前文已经指出，我们所使用的工具影响着我们的思维方式和思维习惯，典型的例子是电动机的出现引发了自动化思维。回顾计算机的发展历史，不难发现人们对“计算”的思维方式在不断地在改变。早期的计算机时代，由于计算机性能低，人们只是期待用计算机来实现运算任务，以提高计算的速度、减轻人的计算工作量。随着计算机技术的发展和信息时代的到来，计算机不再局限于用作“计算”的工具，计算机的应用渗透到各个领域。

（1）在科学与工程计算中的应用。在科研领域，人们使用计算机进行各种复杂的运算及大量数据的处理，如卫星飞行的轨迹、天气预报、太空探索、科学研究中的数学计算和处理等。由于计算机能高速、准确地进行运算，并具备海量的信息存储能力，因此人们往往需要花费数天、数年时间甚至一辈子才能完成的计算任务，计算机只需很短时间就能完成。

（2）在信息管理中的应用。现代信息管理充分利用了计算机信息技术的优势，突破了传统信息管理，采用网络传输、云存储、大数据、数据库、数据仓库、联机分析技术等先进技术手段与方法。大到世界、国家，中到省市地域，小到单位个人，计算机信息管理与我们的工作和生活早已经水乳交融密不可分。如企事业单位的人事管理、图书馆信息检索、办公自动化（OA）、银行账户管理、网络信息浏览与查询、各种专用的管理信息系统（MIS）等等，计算机信息管理带给人们的便利和改变令我们目不暇接。

（3）在多媒体技术的应用。多媒体技术依托计算机作为基本技术平台，融声音、文本、图像、动画、视频和通信等功能融于一体，借助日益普及的高速信息网，可实现计算机的全

球联网和信息资源共享，因此被广泛应用在咨询服务、图书、教育、通信、军事、金融、医疗和娱乐等诸多行业，并正潜移默化地改变着我们的生活。

随着三维动画技术的完善，电脑特技已经成为现在电影制作不可缺少的一种手段。电脑特技，顾名思义，就是借用计算机这一工具实现特殊效果，这种特殊效果是现实不能实现或者不存在的事物，经过人脑的想象，构架它存在的状态并赋予它的视觉符号。诸多电影大片中频繁使用电脑特技实现虚拟和震撼的视觉效果，如《星球大战》、《侏罗纪公园》、《2012》、《阿凡达》等。

(4) 在计算机辅助系统的应用。计算机辅助系统统称为 CAX，包括 CAD (Computer Aided Design, 计算机辅助设计)、CAT (Computer Aided Test, 计算机辅助测试)、CAE (Computer Aided Engineering, 计算机辅助工程)、CAM (Computer Aided Manufacturing, 计算机辅助制造)、CAI (Computer Aided Instruction, 计算机辅助教学) 等。在工厂，计算机为工程师们在设计产品时提供了有效的辅助手段和工具。人们在进行建筑设计时，只要输入有关的原始数据，计算机就能自动处理并绘出各种设计图纸。

(5) 在过程自动控制中的应用。在一些环境危险恶劣或批量化程度高的生产线中，由计算机控制的机器人来代替人类进行劳动，大大减轻了人类的劳动强度，提高了生产效率。在生产中，用计算机控制生产过程的自动化操作，如温度控制、电压电流控制等，从而实现自动进料、自动加工产品以及自动包装产品等。特别是在太空探索中，大量采用了自动化机器人操控。

(6) 在嵌入式系统中的应用。嵌入式系统 (Embedded Systems) 是一种以应用为中心、以微处理器为基础，软件、硬件可裁剪的，适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗等综合性要求的专用计算机系统，也是种类繁多、形态多样的计算机系统。嵌入式系统几乎应用在生活中所有电器设备，如掌上 PDA、计算器、电视机顶盒、手机、数字电视、多媒体播放器、汽车、微波炉、数字相机、家庭自动化系统、电梯、空调、安全系统、自动售货机、蜂窝式电话、消费电子设备、工业自动化仪表与医疗仪器等。

(7) 在人工智能领域中的应用。人工智能是研究、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新的技术科学。人工智能领域的研究包括机器人、语言识别、图像识别、自然语言处理和专家系统等，具体应用有：智能家用电器，计算机智能医生，计算机自动识别系统（指纹识别、人脸识别、视网膜识别、虹膜识别和掌纹识别等），智能搜索，定理证明，博弈，自动程序设计等。

显然，计算机技术应用于不同的领域，人们解决问题的思维方法也会随之发生变化。许多重大的科学技术问题无法求得理论解，也难以应用试验手段求解，但可以用计算的方法求解。计算方法突破了实验和理论科学方法的局限，为科学研究与技术创新提供了新的重要手段和理论基础，正在并将继续推动当代科学和高新技术的发展。例如，在汽车产品的设计过程中，人们可以通过产品的实体建模与造型，看到该产品将来被生产出来之后的三维立体造型。这相当于孩子还未出生，就可以通过计算机及计算机技术看到孩子将来出生后的真实照片了。又如，过去研制核武器，要通过实际实验才能了解其威力和毁伤效果，给环境造成巨大的核污染，甚至带来生命、财产的损害，通过计算与计算机技术，核试验可以不需要实际试爆了，在高性能计算机上就可以完成核爆炸的模拟。

从 20 世纪中叶开始，伴随着计算机的出现，计算与理论、实验并列为三大科学方法和手

段，三者相辅相成，而又相对独立。近年来，云计算、大数据、社交网络、物联网及移动网络等新技术的迅猛发展，引爆了几乎所有经济社会领域的裂变与重构，“颠覆”着金融、零售、电信、咨询甚至教育和房地产等行业，促使人们的思维方式进入一个新的时代。计算思维（Computational Thinking）就是在利用计算机作为认识和改造世界之工具的过程中发展起来的一种思维方式，它是信息时代和知识经济所需要的思维。2006年，原美国卡内基·梅隆（Carnegie Mellon）大学计算机科学系主任、时任美国国家科学基金会计算机与信息科学工程学部负责人周以真教授，曾明确地提出了“计算思维”的定义，并推动一项计划，力图使所有人都能像计算机科学家一样进行思考，使计算思维像“读、写、算”一样成为每个人的一种基本能力。

1.2.2 思维与科学思维

什么是思维？思维（Thinking）是人脑对客观事物的一种概括的、间接的反映，它反映客观事物的本质和规律。思维是在人的实践活动中，特别是在表象的基础上，借助于语言，以知识为中介来实现。实践活动是思维的基础，表象是对客观事物的直接感知过渡到抽象思维的一个中间环节，语言是思维活动的工具。

思维具有概括性、间接性和能动性特征。思维的概括性是指，在人的感性基础上，将一类事物的共同、本质的特征和规律抽取出来，加以概括。例如，通过感觉和知觉，只能感知太阳每天从东方升起，又从西方落下。通过思维，则能揭示这种现象由于地球自转的结果。思维的间接性是指非直接的、以其他事物作媒介来反映客观事物。思维是凭借知识和经验对客观事物进行的间接反应。例如，医生根据医学知识和临床经验，通过病史询问以及一定程度的辅助检查，就能判断病人内器官的病变情况，并确定其病因、病情和做出治疗方案。思维的能动性是一个重要的特征，它不仅能认识和反映客观世界，而且还能对客观世界进行改造。例如，人的肉眼看不到DNA分子，但人的思维却揭示了DNA分子的双螺旋结构，从而揭示了大自然潜藏的遗传密码。

思维可分为科学思维与日常思维。所谓科学思维是指形成并运用于科学认识活动的、人脑借助信息符号对感性认识材料进行加工处理的方式与途径。一般来说，科学思维比日常思维更具有严谨性与科学性。

科学思维（Scientific Thinking）通常是指，经过感性阶段获得的大量材料，通过整理和改造，形成概念、判断和推理，以便反映事物的本质和规律。简而言之，科学思维是人脑对科学信息的加工活动。从人类认识世界和改造世界的思维方式出发，科学思维又可分为理论思维、实验思维和计算思维三种。一般来说，理论思维、实验思维和计算思维分别对应于理论科学、实验科学和计算科学。

理论思维（Theoretical Thinking）又称逻辑思维，是指通过抽象概括，建立描述事物本质的概念，应用科学的方法探寻概念之间联系的一种思维方式。它以推理和演绎为特征，以数学学科为代表。

实验思维（Experimental Thinking）又称实证思维，是通过观察和实验获取自然规律法则的一种思维方式。它以观察和归纳自然规律为特征，以物理学科为代表。与理论思维不同，实验思维往往需要借助某种特定的设备，使用它们来获取数据以便进行分析。

计算思维（Computational Thinking）又称构造思维，是指从具体的算法设计规范入手，通过算法过程的构造与实施来解决给定问题的一种思维方法。它以设计和构造为特征，以计算机学科为代表。计算思维就是思维过程或功能的计算模拟方法论，其研究的目的是提供适当的方法，使人们能借助现代和将来的计算机，逐步实现人工智能的较高目标。

1.2.3 计算思维的定义

目前国际上广泛使用的计算思维定义是由美国卡内基·梅隆大学周以真教授提出的，即“计算思维是运用计算机科学的基础概念去求解问题、设计系统和理解人类行为的涵盖了计算机科学之广度的一系列思维活动”。对于这一定义我们将从下列三方面作一解释。

（1）求解问题中的计算思维。利用计算手段求解问题，首先要把实际的应用问题转换为数学问题，然后建立模型，再设计算法和编制程序。最后在计算机中运行并求解。前两步是计算思维中的抽象，后两步是计算思维中的自动化。

（2）设计系统中的计算思维。任何自然系统和社会系统都可视为一个动态演化系统，演化伴随着物质、能量和信息的交换，这种交换可以映射为符号变换，使之能用计算机实现离散的符号处理。当动态演化系统抽象为离散符号系统后，就可以采用形式化的规范来描述，通过建立模型、设计算法和开发软件来揭示演化的规律，实时控制系统的演化并自动执行。

（3）理解人类行为中的计算思维。利用计算手段来研究人类的行为，可视为社会计算，即通过各种信息技术手段，设计、实施和评估人与环境之间的交互。社会计算涉及人们的交互方式、社会群体的形态及其演化规律等问题。

实际上，在中国，计算思维并不是一个新的名词。从小学到大学教育，计算思维经常被“朦朦胧胧”使用，却一直没有被提升到周以真教授所描述的高度和广度，从来没有那样的新颖、明确和系统。周以真教授更是把计算机这一从工具到思维的发展提炼到与“3R（读 Read、写 wRite、算 aRithmetic）”同等的高度和重要性，成为适合于每个人的一种普遍的认识和一类普适的技能。在一定程度上，这也意味着计算机科学从前沿高端到基础普及的转型。

1.2.4 计算思维的特性

计算思维是涵盖计算机科学的一系列思维活动，而计算机科学是计算的学问——什么是可计算的？怎样去计算？因此，计算思维具有以下特性：

① 计算思维是概念化，而不是程序化的。计算机科学不仅仅是计算机编程。像计算机科学家那样去思维意味着远不止能为计算机编程，还要求能够在抽象的多个层次上思维。

② 计算思维是根本，而不是刻板的技能。根本技能是每个人为了在现代社会中发挥职能所必须掌握的。刻板技能意味着机械的重复。

③ 计算思维是人，而不是计算机的思维方式。计算思维是人类求解问题的一条途径，但决非要使人类像计算机那样地思考。配置了计算设备，我们就能用自己的智慧去解决那些在计算机时代之前不敢尝试的问题，实现“只有想不到，没有做不到”的境界。

④ 计算思维是数学和工程思维的互补与融合。计算机科学在本质上源自数学思维，因为像

所有的科学一样，其形式化基础“建筑”于数学之上。计算机科学又从本质上源自工程思维，因为我们建造的是能够与实际世界互动的系统，基本计算设备的限制迫使计算机科学家必须计算性地思考，不能只是数学性地思考。构建虚拟世界的自由使我们能够设计超越物理世界的各种系统。

⑤ 计算思维是思想，而不是人造物。不仅是我们生产的软件、硬件等人造物将以物理形式到处呈现，也时时刻刻触及我们的生活，而且将包含我们用来接近和求解问题、管理日常生活、与他人交流和互动的计算概念和思想。

⑥ 计算思维是面向所有人和所有地方。计算思维是每个人都应该具备的基本技能，不仅属于计算机科学家及计算机科学专业的学生，而是面向所有专业。我们应当在培养个人解析能力的同时，不但要掌握阅读、写作和算术（3R），还要学会计算思维。正如印刷出版促进了3R的普及，计算和计算机也以类似地正反馈促进了计算思维的传播。

我们生存在计算机时代，当我们要解决一个相对复杂的问题，就不仅是考虑传统的手工处理方式，而应该将计算机的因素考虑其中，因为我们要借助计算机帮我们解决问题。诸如，常规我们怎么处理这个问题，而利用计算机来实现是可行的吗？需要做哪些规律性的归纳和一致性的整合？实现的效率是我们可以接受的吗？怎样在人与计算机之间找到一个最佳的契合点，这就是具备计算思维的重要性。

1.3 计算机求解问题的过程

本节将通过计算机求解问题的大致过程，进一步讲解什么是计算思维。用计算机求解任何问题，首先必须给出解决问题的方法和步骤，也就是算法，再按照某种语法规则编写成计算机可执行的指令，即程序，交给计算机去自动执行。该过程可分为以下6个主要步骤，图1-1给出了问题求解的流程图。

1.3.1 问题的描述

一个问题的正确描述应当使用科学规范的语言。问题无非是一个要完成的任务，即对应着一组输入和一组输出。为了设计求解某一问题的算法，必须了解已知条件是什么？要求输出的结果是什么？问题的定义中包含了哪些限制和约束？由于算法处理的范围是有限的，严格确定算法需要处理的实例范围非常重要。只有在问题被准确定义并完全理解后才能研究问题的解决办法。例如排序问题，输入数据是一组待排序的学生成绩，输出数据是由高到低排好序的学生成绩。学生成绩应为0~100之间的正整数等。

1.3.2 建立数学模型

通过对问题的分析，找出其中所有操作对象以及对象之间的

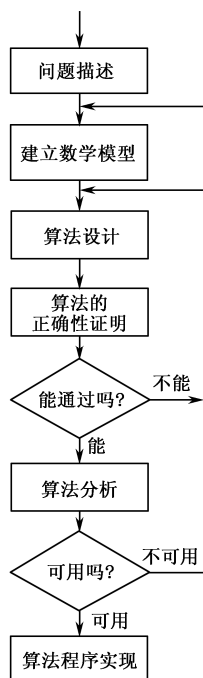


图 1-1 问题求解的流程图

关系,并用数学语言加以描述,即建立数学模型。据统计,当今处理非数值计算问题占用了90%以上的机器时间。这类问题涉及的数据对象之间的关系一般无法用数学方程式加以描述,而需要用集合、数组、链表、树、图等数据结构来描述。因此解决这类问题的关键不再是数学分析和计算方法,而是如何设计合适的数据结构。例如排序问题,输入数据是一组学生的学号、姓名及成绩,可以将这些数据按线性表结构进行组织。输出数据与输入数据内容结构相同,只是数据排列顺序不同。又如 n 皇后问题中,输入数据是 $n \times n$ 棋盘,我们可以用一个二维数组表示棋盘。皇后在棋盘中的位置,则可用相应的数组下标来表示。

1.3.3 算法设计

根据数据模型,给出求解问题的一系列步骤,且这些步骤可通过计算机的各种操作来实现,这个过程就是算法设计。常用的算法设计策略有枚举法、贪心法、动态规划、分治递归、回溯法、模拟法等。通常算法的选择与数学模型的选择密切相关,但同一模型可有不同算法。仅就排序问题而言,人们已经发明了几十种排序算法。算法还需要用一定的方式来描述,常用的算法描述方式有自然语言描述、流程图描述、伪代码描述等。例如, n 皇后问题,数据的输入为一个 $n \times n$ 格棋盘,我们可用二维数组表示棋盘,皇后在棋盘上的位置对应于数组下标。算法策略为:将求解过程看作 n 步决策,从空棋盘开始,首先取第一个皇后放在第一行第一列,然后取第二个皇后放第二行,依此类推。每添加一个皇后之前都要搜索该行中有没有合适位置。如果有则将皇后放入该位置;如果该行所有位置都不满足放置条件,则需回溯到上一层,将上一层皇后位置进行调整后再重复放置。这种算法策略就是回溯法,回溯法的求解过程实质上就是在一个由所有可能解构成的状态空间树中搜索最终解的过程。

1.3.4 算法的正确性证明

一旦完成对算法的描述,我们必须证明它是正确的。算法的正确性是指对一切合法的输入,算法均能在有限次的计算后产生正确的输出。显然,当算法输入数据的取值范围很大或无限时,我们不可能对每一输入检查算法的正确性,即事后的穷举法验证是不可能的。在实际应用中,人们往往采取测试的方法,选择典型的数据进行实际计算。如果与事先知道的结果一致,则说明程序可用。但“测试只能证明程序有错,不能证明程序正确”。严格的形式证明也是存在的,可采用推理证明(演绎法),但十分繁琐,证明过程通常比程序本身还要长,目前还只是具有理论意义。关于程序正确性证明的一些方法在程序设计方法学中有具体介绍。

1.3.5 算法分析

算法分析是指对执行一个算法所消耗的计算机资源进行估算。对数值型算法还需分析算法的稳定性和误差等问题。计算机资源中最重要的是时间和空间资源,执行一个算法程序需要的时间和占用的内存空间分别称为算法的时间复杂性和空间复杂性。算法的复杂性分析具有极重要的实际意义。许多实际应用问题,理论上是有计算机解的,但由于求解所需的时间或空间耗费巨大,如成千上万年,以至于实际上无法办到。对有些时效性很强的问题,如实时控制,即使算法执行时间很短,只有一两秒,也可能是无法忍受的。算法分析的另一个意义是一个问题可能有多个算法,通过对算法的复杂性分析,从中找到最合适的算法。

1.3.6 算法的程序实现

将一个算法描述正确地编写成计算机语言程序，即通常所说的“coding”阶段。算法的程序实现并非总是简单工作，判定一个程序是否正确反映了算法在理论上也决非易事，这是“程序证明论”的一项内容。

习题 1

1. 试从计算机技术的发展历史，说明“我们所使用的工具影响着我们的思维方式和思维习惯”。如何理解计算思维出现背景？
2. 什么是思维？简述科学思维的三种类型及相互关系。
3. 计算思维的含义是什么？它有什么特征？
4. 举例说明计算机求解问题的过程
5. 普适计算的含义是什么？如何预测未来将出现的“无处不在的计算”？
6. 为什么说大学计算机教育应将学生计算思维能力的培养作为重点？