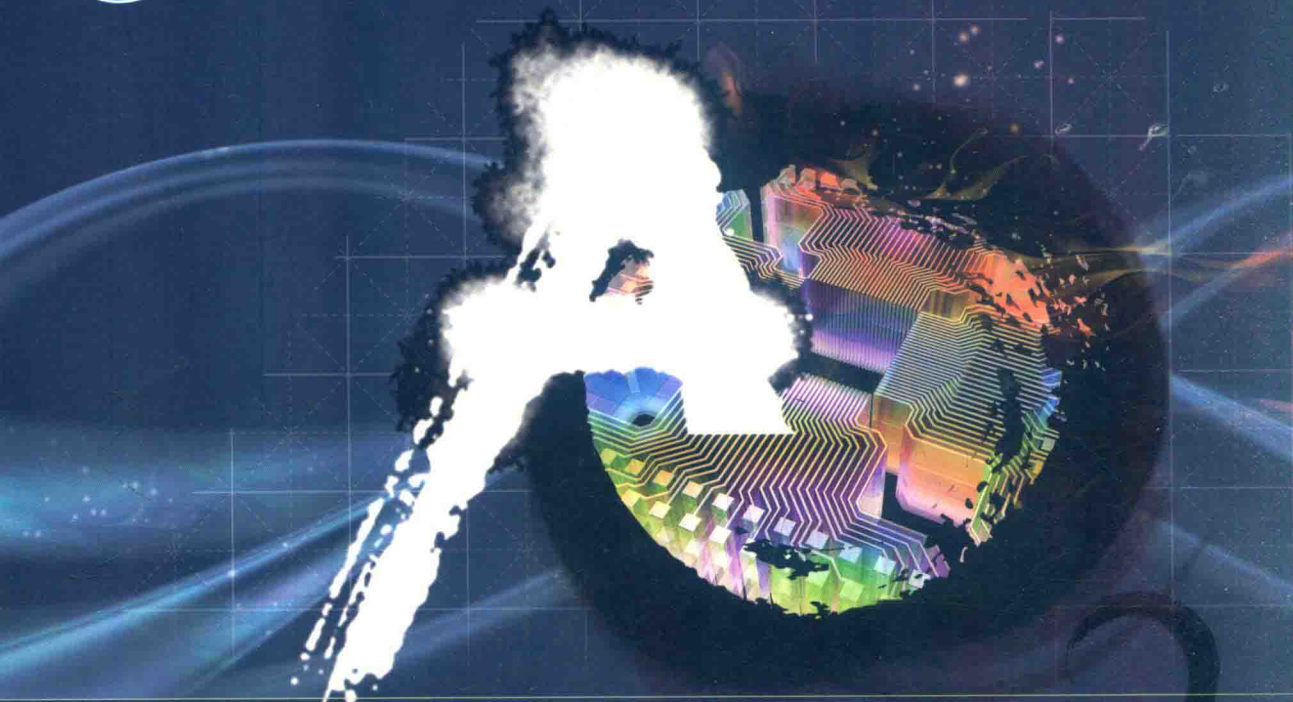




普通高等教育“十一五”国家级规划教材



高等学校规划教材

计算机导论

—— 基于计算思维视角（第4版）

◎ 王玉龙 方英兰 王虹芸 编著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

普通高等教



规划教材

计算机导论

——基于计算思维视角

(第4版)

王玉龙 方英兰 王虹芸 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材的修订版。全书共9章：计算思维概述、算法基础、计算机的硬件基础、计算机系统的硬件结构、数据的组织与管理、计算机系统的软件、计算机系统及应用、计算机信息安全及职业道德、计算机导论实验。附录还给出了专业学习指南。本书为任课老师免费提供电子教案、习题参考答案和实验用程序等教学资源。

本书适合作为计算机专业本科和专科入门教材，也可作为非计算机专业的“计算机基础”教材，也是计算机初学者的理想入门读物。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

计算机导论：基于计算思维视角 / 王玉龙，方英兰，王虹芸编著. —4版. —北京：电子工业出版社，2017.9

高等学校规划教材

ISBN 978-7-121-32482-6

I. ①计… II. ①王… ②方… ③王… III. ①电子计算机—高等学校—教材 IV. ①TP3

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第194742号

策划编辑：章海涛

责任编辑：袁 玺

印 刷：北京宏伟双华印刷有限公司

装 订：北京宏伟双华印刷有限公司

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：21 字数：537千字

版 次：2004年2月第1版

2017年9月第4版

印 次：2017年9月第1次印刷

定 价：46.00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 zlls@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：unicode@phei.com.cn，192910558(QQ群)。

前 言

《计算机导论——基于计算思维视角（第4版）》是在前三版的《计算机导论》基础上修订而成的。《计算机导论》第1版作为国家“九五”规划教材于1997年出版，至2004年9月已印刷21次；《计算机导论》第2版于2005年1月出版，至2008年9月已印刷9次；《计算机导论》第3版作为普通高等教育“十一五”国家级规划教材，于2009年7月出版，至2015年7月已印刷10次。从《计算机导论》一书的出版情况看，该书尚受读者欢迎，其原因是该书的内容能切合教育部制定的对该课程的基本要求：《计算机导论》应为新生提供一个关于计算机科学与技术学科的入门介绍，使学生能对该学科有一个整体的认识，并了解该专业的学生应具有的基本知识和技能。短短的几年过去了，计算机科学技术的飞速发展，对该专业的学生要掌握的计算机科学的“整体认识”及应培养的“能力素质”发生了较大的变化，为适应这一变化，《计算机导论》一书需要重新修订。

在摩尔定律的驱动下，2010年集成电路的最小线宽从32纳米开始跨入惊人的22纳米量级，一个大头针大小的圆头上可以集成1亿个晶体管，使芯片的处理能力不再是应用的瓶颈。强大而廉价的处理能力，不仅提供了卓越的计算功能和海量的存储能力，而且提供了足够的通信带宽，解除了信息技术基础技术平台对应用发展的制约，由此促使了虚拟技术、智能化工具以及云计算、大数据、移动互联网和物联网等新技术应用的快速发展。这一发展具有颠覆性的影响，正在彻底改变科技和社会的方方面面，也改变着人们的思维方式。2012年，教育部组织申报大学计算机课程改革项目，要求大学计算机教学的总体建设目标应该定位在普及计算机文化，培养专业应用能力，训练计算思维能力上。如何将计算思维融入大学计算机教育，已得到计算机教育工作者的广泛关注。

本次修订，将保持前三版的基本风格，尽量写成本既通俗又严谨的计算机科学的入门教材。在教材内容组织上强调计算思维能力的培养。当然，计算思维能力的训练要通过计算机专业的完整教学计划及课程改革来实现，非一门课程所能完成。为此，新版教材名称调整为《计算机导论——基于计算思维视角（第4版）》。

本次主要修订内容如下：

(1) 增加新的一章“计算思维概述”。在简要介绍计算机科学的发展进程基础上，说明计算思维提出的背景，讲述计算思维的定义、特征及与其他科学的关系，简述用计算思维求解问题的途径，说明培养计算思维能力的重要性。

(2) 全书进行了“吐故纳新”，包括：对经典的基础内容进行精简，对陈旧的内容进行删除，并增加计算机科学的新技术、新发展。

(3) 按培养学生计算思维能力的要求，对全书内容进行重新编排。

修订后的《计算机导论——基于计算思维视角（第4版）》分为9章，保留了原有的计算机导论实验及4个附录，供教师与学生参考。此外，为任课教师提供下列教学资源：电子教案、习题参考答案、实验用软件及模拟试题等。任课老师可通过华信教育资源网 <http://www.hxedu.com.cn> 免费注册下载。

本书力求处理好下列三方面的关系:

首先,是课程内容的广度与深度的关系。广度是本课程的基本要求,而深度则是为广度服务的,应以讲清楚各知识单元的基本概念为目的。

其次,是课程内容的深度与读者对象的关系。本课程的对象是“初学者”,而随着微型计算机及计算机网络的普及,这些“初学者”中的大多数都已具有计算机的某些知识或使用经历。因此,本教材在内容深度上虽是“入门”性的,但必须是系统和严谨的,并区别于一般的计算机科普读物。

第三,是课程内容与授课时间的关系。本课程的授课总学时约 32 学时,按这些学时数要求写出一本全面介绍计算机系统的教材难度相当大。解决这一难点的简单办法是适当地多写些,任课教师根据教学要求及给予的学时数,少讲或精讲某些内容,或部分内容供学生自学。例如,“计算机网络及其应用”部分内容可少讲或不讲。“计算机信息安全及职业道德”部分内容可以用讲座方式作简单介绍,书中带“※”号的内容可少讲或不讲;“计算机应用”部分内容可以用讲座方式作简单介绍,或供学生自学;“计算机导论实验”可由学生自行上机完成,老师负责指导,并向老师提交实验报告;附录内容可作为入学新生的专业教育参考资料,本书以二维码方式呈现,学生用手机扫描二维码即可获取学习内容。

本次修订由王玉龙、方英兰两位老师合作完成。在编写本书过程中,得到电子工业出版社童占梅编审的大力支持与帮助,北方工业大学吴乐明老师完成了本书的校对与录入工作,在此对她们表示衷心的感谢。此外,还要感谢为本书的前几版编写做出贡献的付晓玲、刘高军等诸位老师。

教材内容总是落后于科学技术发展,在本次修订中,难免出现错误或不妥之处,恳请广大读者提出宝贵的意见。

编著者

目 录

第 1 章 计算思维概述	1	第 3 章 计算机的硬件基础	27
1.1 计算机发展概述	1	3.1 计算机的基本组成及其工作 原理	27
1.1.1 历史回顾	1	3.1.1 计算机的基本组成	27
1.1.2 发展现状	2	3.1.2 计算机的基本工作原理	28
1.1.3 发展趋势	8	3.2 信息在计算机中的表示	31
1.2 什么是计算思维	9	3.2.1 数值数据	31
1.2.1 计算机的发展与思维方式的 变化	9	3.2.2 字符数据	39
1.2.2 思维与科学思维	11	3.2.3 声音数据	41
1.2.3 计算思维的定义	12	3.2.4 图像和图形数据	41
1.2.4 计算思维的特性	12	3.2.5 视频数据	42
1.3 计算机求解问题的过程	13	3.3 运算基础	43
1.3.1 问题的描述	13	3.3.1 四则运算	43
1.3.2 建立数学模型	13	3.3.2 补码加减运算	44
1.3.3 算法设计	14	3.3.3 十进制数运算	46
1.3.4 算法的正确性证明	14	3.3.4 逻辑运算	47
1.3.5 算法分析	14	3.4 逻辑代数及逻辑电路	49
1.3.6 算法的程序实现	15	3.4.1 逻辑代数的初步知识	49
习题 1	15	3.4.2 基本逻辑电路	51
第 2 章 算法基础	16	3.4.3 基本逻辑部件	57
2.1 计算科学的典型问题	16	习题 3	64
2.1.1 排序问题	16	第 4 章 计算机系统的硬件结构	67
2.1.2 汉诺塔问题	16	4.1 中央处理器 (CPU)	67
2.1.3 n 皇后问题	17	4.1.1 运算器	67
2.1.4 旅行商问题	17	4.1.2 控制器	70
2.1.5 学习算法的意义	18	4.1.3 CPU 典型结构举例	74
2.2 算法初步	18	4.1.4 多核 CPU 和 GPU	78
2.2.1 算法概念	18	4.2 主存储器	81
2.2.2 算法特征	19	4.2.1 主存储器概述	81
2.2.3 算法描述	20	4.2.2 半导体存储器	84
2.3 算法结构	21	4.2.3 用芯片组成一个存储器	87
2.2.5 算法设计方法	23	4.3 辅助存储器	89
2.2.6 算法分析	25	4.3.1 磁表面存储器	89
习题 2	26	4.3.2 光盘存储器	93

4.3.3	可移动外存储器	95	6.1.2	软件分类	153
4.3.4	计算机的存储体系	95	6.1.3	常用软件简介	153
4.4	输入/输出系统	97	6.1.4	计算机系统的组成	154
4.4.1	输入设备	97	6.2	程序设计语言	156
4.4.2	输出设备	99	6.2.1	程序设计语言发展概述	156
4.4.3	输入/输出接口	102	6.2.2	程序设计基础	159
4.4.4	输入/输出控制方式	104	6.2.3	面向对象程序设计	168
4.5	指令系统及执行	106	6.3	操作系统	172
4.5.1	指令系统	106	6.3.1	操作系统概述	172
4.5.2	总线	110	6.3.2	处理器管理	177
4.5.3	计算机的时标系统	112	6.3.3	存储管理	183
4.5.4	计算机的整机工作原理	113	6.3.4	设备管理	187
4.5.5	计算机的性能评价	118	6.3.5	文件管理	191
4.6	计算机的系统结构	119	6.4	编译系统	197
4.6.1	并行处理的概念	119	6.4.1	编译原理概述	197
4.6.2	流水线处理机系统	120	6.4.2	词法分析	199
4.6.3	并行处理机系统	122	6.4.3	语法分析	201
4.6.4	多处理机系统	123	6.4.4	中间代码生成	203
4.6.5	数据流计算机	123	6.4.5	代码优化	204
4.6.6	精简指令系统计算机	124	6.4.6	目标代码生成	205
习题 4		125	6.4.7	表格管理和出错处理	206
第 5 章	数据的组织与管理	128	6.5	软件工程	207
5.1	数据结构基础	128	6.5.1	软件工程概述	207
5.1.1	基本概念	128	6.5.2	软件开发模型	209
5.1.2	线性表	130	习题 6		213
5.1.3	图	133	第 7 章	计算机系统及应用	215
5.1.4	树	134	7.1	计算机网络	215
5.2	数据库系统	136	7.1.1	计算机网络的组成	215
5.2.1	什么是数据库	137	7.1.2	计算机网络的分类	218
5.2.2	数据模型	138	7.1.3	网络中数据传输的基本原理	221
5.2.3	数据库的基本结构形式—— 数据表	140	7.1.4	网络通信协议	223
5.2.4	数据库语言	141	7.1.5	计算机网络示例	225
5.2.5	数据库设计	143	7.1.6	互联网 Internet 简介	227
5.2.6	数据库技术的发展	146	7.1.7	互联网新技术	233
习题 5		150	7.1.8	无线网	235
第 6 章	计算机系统的软件	152	7.1.9	物联网	238
6.1	计算机软件概述	152	7.1.10	云计算	239
6.1.1	什么是软件	152	7.2	多媒体技术	241

7.2.1	基本概念	242	8.3.1	什么是计算机黑客	289
7.2.2	多媒体关键技术	245	8.3.2	黑客的主要攻击手段	289
7.2.3	多媒体计算机系统	249	8.4	计算机犯罪	290
7.2.4	Windows 多媒体环境	252	8.5	防火墙的基本概念	291
7.2.5	多媒体技术的应用 与发展	254	8.5.1	什么是防火墙	291
7.3	虚拟现实	255	8.5.2	包过滤路由器	292
7.3.1	什么是虚拟现实	255	8.5.3	应用级网关	293
7.3.2	VR 的发展历程	257	8.5.4	防火墙产品简介	294
7.3.3	VR 系统结构	259	8.6	计算机职业道德	294
7.3.4	构造 VR 系统的主要软/硬件 设备	259	8.6.1	职业道德的基本范畴	295
7.3.5	VR 的应用系统	261	8.6.2	计算机职业道德教育的 重要性	295
7.4	人工智能	264	8.6.3	信息使用的道德规范	295
7.4.1	什么是人工智能	265	习题 8		296
7.4.2	人工智能的主要研究方向 与应用领域	266	第 9 章	计算机导论实验	297
7.4.3	专家系统	270	9.1	计算机硬件实验	297
7.4.4	神经网络	275	9.2	Office 办公软件实验	300
习题 7		279	9.3	操作系统文件管理实验	306
第 8 章	计算机信息安全及职业道德	281	9.4	网络综合应用实验	308
8.1	计算机信息安全概述	281	9.5	多媒体综合应用实验	309
8.1.1	什么是计算机信息安全	281	9.6	Access 数据库应用实验	311
8.1.2	威胁计算机网络安全的主要 因素	282	附录	专业学习指南	315
8.2	计算机病毒	284	附录 A	计算机科学与技术专业知识 体系与科学方法论	315
8.2.1	病毒的定义和特点	284	附录 B	计算机科学与技术专业的 职业类别	319
8.2.2	三种有影响的病毒	285	附录 C	计算机行业背景知识	321
8.2.3	病毒的分类	285	附录 D	常见英文计算机缩略语 对照表	324
8.2.4	反病毒技术概述	287	参考文献		326
8.3	计算机黑客	289			

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（Electronic 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、软件及应用的简要特征。

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, 其数据线的为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 (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, Pcnet, 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的，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，具有与智能手机一样的功能，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