

高等院校计算机系列教材

计算机组成与系统结构

主 编 陈 书 开 王 毅
副 主 编 成 运 周 云 霞
黄 敏 向 永 生



WUHAN UNIVERSITY PRESS
武汉大学出版社

高等院校计算机系列教材

计算机组成与系统结构

主 编 陈书开 王 毅

副主编 成 运 周云霞 黄 敏 向永生

参 编 龙际珍



WUHAN UNIVERSITY PRESS
武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成与系统结构/陈书开,王毅主编. —武汉:武汉大学出版社,2005.8

(高等院校计算机系列教材)

ISBN 7-307-04586-9

I. 计… II. ①陈… ②王… III. 计算机体系结构—高等学校—教材 IV. TP303

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 080273 号

责任编辑:黄金文 杨华 高辉 责任校对:黄添生 版式设计:支笛

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:wdp4@whu.edu.cn 网址:www.wdp.whu.edu.cn)

印刷:湖北省孝感日报社印刷厂

开本:787×980 1/16 印张:25.75 字数:456千字

版次:2005年8月第1版 2005年8月第1次印刷

ISBN 7-307-04586-9/TP·174 定价:38.00元

版权所有,不得翻印;凡购我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。



内 容 简 介

本书共分为 12 章，内容包括概论、数据的表示方法和数据校验、运算方法及运算部件、指令系统、控制器及其设计、中央处理器（CPU）举例、存储器组织及系统结构、系统总线、输入输出（I/O）系统、输入输出（I/O）设备、流水线技术和计算机系统结构等。本教材结合计算机科学的理论、抽象和设计三种形态，讲述计算机内部工作机制及组成原理，重点突出计算机的基本原理、基本知识和基本技巧，力求与当代先进的计算机技术相结合，并在书中介绍了国内计算机的最新研究成果。

本书可作为高等院校的理工科学生学习“计算机组成原理”课程或“计算机组成与系统结构”课程的教材，也可供从事计算机研究开发的工程技术人员参考。



前 言

《计算机组成与系统结构》是高等院校计算机科学与技术专业及相关专业的一门核心专业基础课。本课程的前修课程是《数字电路与系统》和《汇编语言程序设计》。数字电路知识是理解计算机各功能部件工作原理及其逻辑实现的必备基础；而汇编语言程序设计，则可使学生了解计算机的执行对象——程序，且如何用程序来调度管理计算机的各功能部件及外设。本课程的后续课程的《微机接口技术及应用》及专业的其他课程都是以本课程为基础的。所以，从教学上，本课程是承上启下的主干课程，是必须掌握的重要知识结构。

本课程是一门理论性强、且又与实际紧密结合的课程，它的特点是内容覆盖面广，基本概念多，而且又比较抽象。本教材结合计算机科学的理论、抽象和设计三种形态，讲述计算机组成与系统结构及内部工作机制，重点突出计算机的基本原理、基本知识和基本技巧，并力求与当代先进的计算机技术相结合。旨在使读者建立计算机的整机概念，掌握计算机中各功能部件的工作原理和逻辑实现，包括运算功能部件的设计、控制器的控制方法、CPU 的构成、存储器系统的设计、数据通路的构成及输入输出接口的设计等，并相互连接，组成单机系统，为分析、设计、开发以及使用计算机打下坚实的基础。

本教材内容由浅入深、由易到难、由单元电路到功能部件、再由功能部件到计算机系统、循序渐进地进行介绍，分为以下五部分：

第1部分：计算机系统概论。先简要介绍计算机的发展概况（包括我国计算机的发展概况），以及计算机的分类、特点和技术指标，然后讲述计算机的硬件、软件、系统结构的基本概念及其应用。目的是为了帮助学生初步建立起计算机系统的整体概念和掌握常用术语，为学习后续各章的内容打下基础。

第2部分：运算器、控制器和微处理器（CPU）。第二章介绍数据的类型、表示方法、编码方案和数据校验；第三章介绍二进制定点数加、减、乘、除算法和浮点数加、减、乘、除算法，以及运算器的实现；第四章介绍指令系统，第五章介绍如何实现微程序控制和硬布线控制；在第二章至第五章的基础上，第六章列举了几个 CPU 的例子，龙芯 CPU 也在其中。

第3部分：存储器系统。第七章先介绍 SRAM 和 DRAM 半导体存储器，在此基础上再介绍内存存储器的设计、并行存储器、相联存储器 and 高速缓冲存储器，然后讲述磁盘存储器、磁带存储器、光盘存储器，最后再介绍虚拟存储器，形成一个完整的多级



存储结构体系。把高速缓冲存储器、内存储器、外存储器和虚拟存储器都放在这一章介绍,不但使内容紧凑,且便于读者建立存储系统的整体概念。

第4部分:系统总线、输入输出(I/O)设备。第八章主要介绍总线的基本概念和微机总线;第九章主要介绍程序直接控制方式、程序中断方式、直接存储器访问(DMA)方式、通道控制方式和输入输出处理机(IOP);第十章主要介绍输入设备和输出设备。

第5部分:流水技术与并行处理。第十一章介绍流水线的基本概念、流水线的性能、流水线的相关处理、非线性流水线的调度、流水线中的多发技术;第十二章主要介绍向量计算机、阵列处理机和多处理机系统。

现在有许多高校为了节省课时,把《计算机组成原理》课程和《计算机系统结构》课程合并为一门课程,叫做《计算机组成与系统结构》课程,这种情况选用本教材比较适合;另外也有的高校先开《计算机组成原理》课程,在后续课程中还开有《计算机系统结构》课程。本教材前10章包括了《计算机组成原理》课程的全部内容。所以,本教材既可作为《计算机组成原理》课程的教材,又可作为《计算机组成与系统结构》课程的教材。教师可以根据情况对第5部分的内容进行取舍。

为了既要符合本课程教学的要求,又要便于学生学习的需要,本教材力求做到:

- (1)内容全面,结构合理,层次分明。
- (2)理论联系实际,基本概念清楚,逻辑性强。
- (3)适当介绍一些基本逻辑部件,解决抽象难懂的问题。
- (4)突出重点和难点及相关内容的联系。
- (5)适当介绍一些设计举例。
- (6)尽量反映该领域中的最新研究成果。

本教材的第一章和第七章由长沙理工大学陈书开教授编写,第八章和第九章由湘潭大学王毅副教授编写,第四章和第五章由湖南人文科技学院成运副教授编写,第二章、第十一章和第十二章由长沙理工大学黄敏副教授编写,第六章和第十章由湖南师范大学周云霞老师编写,第三章由长沙理工大学向永生老师编写。长沙理工大学龙际珍老师参与了部分编写工作。本教材最后由陈书开教授统一定稿。

本教材在编写过程中,得到了长沙理工大学乐晓波教授的大力支持,参考了大量的文献资料,包括网上文献资料和电子文献资料,在此一并表示诚挚的谢意。

由于作者的水平有限,本教材中难免有不妥之处,恳请读者批评指正。

作者

2005年5月



前 言	1
第一章 计算机系统概论	1
1.1 电子计算机的发展概况	1
1.1.1 计算机的产生	1
1.1.2 国外计算机发展简介	2
1.1.3 中国计算机发展简介	3
1.1.4 计算机的发展趋势	4
1.2 计算机的分类、特点和技术指标	5
1.2.1 计算机的分类	5
1.2.2 计算机的特点	6
1.2.3 计算机的主要技术指标	7
1.3 计算机的硬件	9
1.3.1 冯·诺依曼计算机的设计思想	9
1.3.2 计算机的基本结构	10
1.4 计算机的软件与计算机的工作过程	12
1.4.1 软件的发展演变	13
1.4.2 计算机软件与硬件的逻辑等价性	14
1.4.3 计算机的工作过程	15
1.5 计算机系统的基本概念	15
1.5.1 计算机的层次结构	15
1.5.2 计算机组成与系统结构的概念	17
1.6 计算机的应用	18
小结	19
习题一	20
第二章 数据的表示方法和数据校验	22
2.1 数据的表示方法及其转换	22
2.1.1 数制	22



2.1.2 计算机为什么采用二进制	23
2.1.3 不同数制间的数据转换	23
2.1.4 数据符号的表示	25
2.1.5 十进制数位的编码与运算	25
2.2 无符号数和有符号数	27
2.2.1 无符号数	28
2.2.2 有符号数及其编码	28
2.3 定点数和浮点数	32
2.3.1 数的定点表示	32
2.3.2 数的浮点表示	33
2.4 非数值数据的表示方法	35
2.4.1 字符的表示方法	35
2.4.2 汉字的表示方法	36
2.4.3 其他信息的表示	38
2.5 数据校验	39
2.5.1 奇偶校验	39
2.5.2 海明码校验	40
2.5.3 循环冗余 (CRC) 校验	42
小结	46
习题二	47

第三章 运算方法及运算部件	48
3.1 定点加、减运算	48
3.1.1 定点补码加、减运算	48
3.1.2 加、减运算的溢出处理	51
3.2 定点数乘法运算	53
3.2.1 原码一位乘法和两位乘法	53
3.2.2 补码一位乘法和两位乘法	58
3.3 定点数除法运算	64
3.3.1 原码一位除法	64
3.3.2 补码一位除法	68
3.4 浮点数的运算方法	70
3.4.1 浮点数的加、减运算	70
3.4.2 浮点数的乘、除法运算	72
3.5 运算部件	76
3.5.1 定点运算部件	76



3.5.2 浮点运算部件	78
3.5.3 用集成电路构成算术逻辑运算器	80
小结	82
习题三	82
 第四章 指令系统	84
4.1 指令格式与操作码的编码技术	84
4.1.1 指令格式	84
4.1.2 操作码的编码技术	86
4.2 信息存放	87
4.3 寻址方式	88
4.4 指令类型	92
4.5 RISC 技术	100
4.5.1 RISC 的产生与发展	100
4.5.2 RISC 的特点	101
4.5.3 RISC 与 CISC 的比较	102
4.6 指令系统举例	103
4.6.1 Pentium 微处理器指令系统	103
4.6.2 SPARC 的指令系统	105
4.6.3 IBM 大型机指令系统	108
4.6.4 PDP11 与 VAX11 基本指令格式	109
小结	111
习题四	111
 第五章 控制器	114
5.1 控制器的功能及结构	114
5.1.1 控制器的功能	114
5.1.2 控制器的组成	115
5.2 时序与控制	117
5.2.1 时序系统	118
5.2.2 控制方式	121
5.3 硬布线控制器	122
5.3.1 硬布线控制器的基本原理	122
5.3.2 硬布线控制器的设计步骤	123
5.3.3 硬布线控制器举例	125
5.3.4 阵列逻辑控制器	128



5.4 微程序控制器	131
5.4.1 基本概念	132
5.4.2 微程序控制的基本原理	133
5.4.3 微指令周期与 CPU 周期的关系	134
5.4.4 微指令与机器指令的关系	134
5.5 微程序设计技术	135
5.5.1 微指令的编码方式	135
5.5.2 微地址的形成方法	136
5.5.3 微指令的格式	139
5.5.4 串行微程序控制和并行微程序控制	141
5.5.5 动态微程序设计	142
5.5.6 微程序设计举例	143
5.6 微程序控制器与硬布线控制器的比较	146
小结	147
习题五	148
 第六章 中央处理器 CPU	 150
6.1 CPU 的结构与功能	150
6.1.1 CPU 的功能	150
6.1.2 CPU 的基本结构	150
6.1.3 CPU 的发展过程	151
6.1.4 CPU 的性能指标	153
6.2 CPU 举例	153
6.2.1 Intel 系列 CPU 简介	153
6.2.2 龙芯 CPU 简介	158
6.2.3 精简指令集 CPU	159
6.2.4 嵌入式 CPU 举例	160
小结	162
习题六	162
 第七章 存储器系统	 163
7.1 存储器系统概述	163
7.1.1 存储器分类	163
7.1.2 存储器系统的层次结构	167
7.1.3 内存储器的主要性能指标	170
7.2 半导体存储器	171



7.2.1 静态随机读写存储器 (SRAM)	172
7.2.2 动态随机读写存储器及其刷新与控制电路	178
7.2.3 DRAM 的研究与发展	184
7.2.4 半导体只读存储器	188
7.2.5 闪速存储器	189
7.2.6 半导体存储器的封装	192
7.3 内存储器的组成与设计	194
7.3.1 内存储器存储单元的分配	194
7.3.2 内存储器与 CPU 的连接	195
7.3.3 内存储器的设计	199
7.3.4 内存储器的校验	202
7.3.5 提高内存存取速度的措施	202
7.3.6 并行存储器和相联存储器	203
7.4 高速缓冲存储器 (Cache)	210
7.4.1 Cache 的功能	210
7.4.2 Cache 的基本原理及结构	211
7.4.3 Cache 的读写操作和命中率	214
7.4.4 地址映像	218
7.4.5 替换算法	221
7.4.6 Pentium II 的 Cache 组织	222
7.5 辅助存储器	224
7.5.1 磁表面记录原理及记录方式	224
7.5.2 磁盘存储器	228
7.5.3 磁带存储器	233
7.5.4 光盘存储器	236
7.6 虚拟存储器技术	239
7.6.1 虚拟存储器的基本概念	239
7.6.2 虚拟存储器的管理方式	240
7.6.3 虚拟存储器的的工作过程	243
小结	245
习题七	246
 第八章 系统总线	 250
8.1 总线的基本概念	250
8.1.1 总线的特性和性能指标	250
8.1.2 总线标准	251



8.1.3 总线传输方式和分类	251
8.1.4 总线结构	252
8.1.5 总线仲裁	254
8.1.6 总线协议	256
8.1.7 总线负载能力和出错处理	259
8.2 微机总线简介	260
8.2.1 ISA 总线和 EISA 总线	260
8.2.2 PCI 总线	260
8.2.3 AGP 总线	262
8.2.4 PCI Express 技术原理 (3GIO 概述)	262
8.2.5 RS232C 串行通信总线	264
8.2.6 通用串行接口 USB	267
小结	268
习题八	268

第九章 输入输出 (I/O) 系统

9.1 输入输出 (I/O) 系统概述	270
9.1.1 I/O 接口的基本功能	270
9.1.2 I/O 接口的基本组成	271
9.1.3 I/O 接口的编址方式	274
9.1.4 I/O 接口的类型	275
9.2 程序直接控制方式	275
9.3 程序中断方式	276
9.3.1 中断的基本概念及分类	277
9.3.2 中断请求和中断屏蔽	279
9.3.3 中断响应和中断处理	282
9.3.4 中断判优和多重中断	285
9.3.5 程序中断设备接口及工作原理	291
9.4 直接存储器访问 (DMA) 方式	292
9.4.1 DMA 方式的基本概念	293
9.4.2 DMA 控制器组成	294
9.4.3 DMA 传送过程	295
9.4.4 DMA 工作方式	296
9.4.5 DMA 控制器与系统的连接方式	298
9.5 通道控制方式和输入输出处理机 (IOP)	299
9.5.1 I/O 通道的基本概念	299



9.5.2 通道的基本功能	300
9.5.3 I/O 通道的类型	300
9.5.4 通道型 I/O 处理机 (IOP) 和外围处理机	302
小结	304
习题九	304
第十章 输入输出 (I/O) 设备	306
10.1 概述	306
10.1.1 I/O 设备的基本功能	306
10.1.2 I/O 设备的特点	307
10.1.3 I/O 设备的分类	307
10.1.4 I/O 设备与主机的连接	308
10.2 输入设备	308
10.2.1 键盘	309
10.2.2 鼠标器	311
10.2.3 触摸屏	313
10.3 输出设备	314
10.3.1 显示设备	314
10.3.2 打印设备	321
小结	326
习题十	327
第十一章 流水线技术	328
11.1 流水线的基本概念	328
11.1.1 流水线简介	328
11.1.2 流水线分类	330
11.1.3 流水技术的特点	333
11.2 流水线的性能	334
11.2.1 吞吐率 (Throughput rate)	334
11.2.2 加速比 (Speedup ratio)	336
11.2.3 效率 (Efficiency)	337
11.2.4 举例	338
11.3 流水线的相关处理	340
11.3.1 结构相关	340
11.3.2 数据相关	341
11.3.3 控制相关	343



11.4 非线性流水线的调度	345
11.5 流水线中的多发技术	348
11.5.1 超标量 (Super scalar) 技术	348
11.5.2 超流水线 (Super pipeline) 技术	349
11.5.3 超长指令字 VLIW 技术	350
小结	351
习题十一	351
第十二章 并行处理技术	353
12.1 计算机系统的分类	353
12.2 向量计算机	354
12.2.1 基本概念	354
12.2.2 向量处理方式	355
12.3 阵列处理机	360
12.3.1 阵列处理机的操作模型	360
12.3.2 阵列处理机的特点	361
12.3.3 阵列处理机的基本结构	361
12.4 多处理机系统	364
12.4.1 多处理机系统的特点和分类	364
12.4.2 多处理机系统的关键技术	367
12.5 计算模型分类	371
小结	376
习题十二	376
参考文献	398



第一章 计算机系统概论

计算机系统是一个由硬件和软件构成的自动化电子数字系统。本章先简要介绍计算机的发展概况,以及计算机的分类、特点和技术指标,然后讲述计算机的硬件、软件、系统结构的基本概念及其应用。目的是为了帮助读者初步建立起计算机系统的整体概念和掌握常用术语,为学习后续各章的内容打下基础。

1.1 电子计算机的发展概况

电子数字计算机(Electronic Digital Computer),简称计算机(Computer)或电脑,是20世纪最伟大的发明之一。这一最伟大的科技成就极大地推动了人类社会的发展,人类已进入了一个前所未有的信息化社会。计算机已成为人们工作和生活中不可缺少的现代化工具。

1.1.1 计算机的产生

在远古社会,人类就以十个手指作为计算工具,进行一些简单的数字计算,在此基础上形成了十进制的计数法。公元前五世纪,我们的祖先发明了珠算,算盘作为计算工具先后传到日本等亚洲国家和欧洲,经历了几千年,珠算口诀不断完善,迄今仍有人在使用算盘。公元17世纪,欧洲人发明了对数计算器,后来又发明了机械式的手摇计算机。

人类所使用的计算工具是随着生产的发展和社会的进步,从简单到复杂、从低级到高级的发展过程,计算工具相继出现了如算盘、计算尺、手摇机械计算机、电动机机械计算机等。

20世纪初,英国人Boole创立了“布尔代数”,为电子数字计算机的诞生奠定了理论基础。那时用两个电子管等元件构成的双稳态触发器,用于表示二进制数的“0”和“1”,又为电子数字计算机的诞生奠定了物质基础。1946年美国宾夕法尼亚大学摩尔学院与美国军方阿伯丁弹道实验室研制成功了第一台电子管组成的数字积分器和计算机ENIAC(Electronic Numerical Integrator and Computer),它使用了18 000多只电子管,重30吨,占地约170m²,耗电150kW,字长12位,运算速度为5000次/s。尽管如此,它作为人类历史上的第一台电子数字计算机,具有划时代的意义,奠定了现代计算机科学和技术的发展基础。

1.1.2 国外计算机发展简介

自第一台电子数字计算机诞生以来,获得了飞速发展。计算机的体系结构已发生了重大变化。人们根据计算机经历不同发展阶段所采用的电子器件不同,将它划分为五代。

第一代——电子管计算机(1946~1957年)。计算机主要采用电子管作为基本逻辑元件,存储器采用磁鼓和磁芯,其特点是:只能进行定点算术运算,运算速度慢,且体积大、耗电大、价格昂贵、可靠性差、成本高,不易维护,使用也不方便,所编制的程序的复杂程度难以表述。软件主要采用机器语言和汇编语言编写源程序,源程序再经汇编程序翻译成机器语言目标程序。这一代计算机主要用于科学计算,只在重要部门或科学研究部门使用。

第二代——晶体管计算机(1958~1964年)。计算机主要采用晶体管作为基本逻辑元件,普遍采用磁芯作为内存储器,采用磁盘和磁鼓作为外存储器。它与电子管计算机相比,其特点是:体积减小,重量减轻,功耗降低,成本下降,计算机的可靠性和运算速度均得到提高。晶体管计算机由硬件实现浮点算术运算,运算速度提高到几万次/s至几十万次/s。在软件方面开始有了系统软件(监控程序),提出了操作系统概念,并开始使用计算机算法语言。这一代计算机不仅用于科学计算,还用于数据处理、事务处理和工业控制。

第三代——中小规模集成电路计算机(1965~1973年)。计算机主要采用中、小规模集成电路作为逻辑器件,内存储器为半导体存储器,使存储器的存取速度有了大幅度的提高。它与晶体管计算机相比,其特点是:体积更小,重量更轻,耗电更省,寿命更长,成本更低,运算速度有了更大的提高。系统软件有了很大发展,出现了分时操作系统,使计算机的功能越来越强,多用户可以共享计算机软硬件资源。从这一代计算机开始采用微程序控制的设计技术、流水线结构以及高速缓冲存储器(Cache),运算速度达到几十万次/s至几百万次/s。软件已出现操作系统、虚拟存储器。它不仅用于科学计算,还用于文字处理、企业管理、自动控制等领域,出现了计算机技术与通信技术相结合的信息管理系统,可用于生产管理、交通管理、情报检索等领域。

第四代——大规模、超大规模集成电路计算机(1974~1990年)。计算机主要基本逻辑部件采用大规模、超大规模集成电路。半导体内存容量越来越大,外存储器广泛采用软磁盘、硬磁盘。使计算机体积进一步缩小,可靠性进一步提高。运算速度从几千万次/s至几亿次/s。软件有数据库管理、分布式处理及网络等。

第四代计算机的另一个重要分支是以大规模、超大规模集成电路为基础发展起来的微处理器和微型计算机。微型计算机大致经历了四个阶段:第一阶段是1971~1973年,4位微型计算机的研制阶段。第二阶段是1973~1977年,8位微型计算机的发展和改进阶段。第三阶段是1978~1983年,16位微型计算机的发展阶段。第四



阶段便是从1983年开始至今,32位微型计算机的发展阶段,并进入64位计算机时代。微型计算机的性能主要取决于它的核心器件—微处理器(CPU)的性能。

第五代——巨大规模集成电路新一代计算机(1990年至现在)。所谓新一代计算机,从数值计算过渡到以知识推理为主,允许用户使用自然语言。运算速度从几千亿次/s至几十万亿次/s。普遍认为新一代计算机应该是智能型的,它能模拟人的智能行为,理解人类自然语言,最终向着自然语言方向发展,且能自动生成程序。

1.1.3 中国计算机发展简介

我国对计算机的研究,虽然起步较晚,但是发展较快,目前已进入世界前三名。为了帮助读者对我国计算机的发展有一个大概的了解,现简要介绍如下:

第一阶段(1957~1962年)1957年,哈尔滨工业大学研制成功中国第一台模拟式电子计算机。1958年,中国第一台计算机——103型通用数字电子计算机由中国科学院计算所与北京有线电厂共同研制成功,运行速度每秒1500次,字长31位,内存容量为1024字节。1959年,中国研制成功104型电子计算机,内存容量为2048字节,字长39位,运算速度为每秒1万次,为我国尖端武器的发展做出了重要贡献。1960年,中国第一台大型通用电子计算机——107型通用电子数字计算机研制成功,其字长32位,内存容量为1024字节,有加减乘除等16条指令,主要用于弹道计算。

第二阶段(1963~1972年)1963年,中国第一台大型晶体管电子计算机——109机研制成功。这标志着中国电子计算机技术进入第二代。1964年,441B全晶体管计算机研制成功,字长40位。1965年,中国第一台百万次集成电路计算机“DJS-II”型的操作系统编制完成。1967年,新型晶体管大型通用数字计算机诞生。1968年,北京大学承接研制百万次集成电路数字电子计算机——150机。1970年,中国第一台具有多道程序分时操作系统和标准汇编语言的计算机——441B-III型全晶体管计算机研制成功。1972年,每秒运算11万次的大型集成电路通用数字电子计算机研制成功。

第三阶段(1973~1982年)1973年,中国第一台百万次集成电路电子计算机研制成功,字长48位,存储容量13KB。1974年,DJS-130、131、132、135、140、152、153等13个机型先后研制成功。1976年,DJS-183、184、185、186、1804机研制成功。我国台湾台中农学院发明了第一代仓颉输入法。1977年,中国第一台微型计算机DJS-050机研制成功。1979年,中国研制成功每秒运算500万次的集成电路计算机——HDS-9。1981年,中国研制成功的260机平均运算速度达到每秒1000万次。《信息处理交换用汉字字符集(基本集)》GB2312国家标准正式发布实施。

第四阶段(1983~1992年)1983年,国防科技大学研制成功“银河I型”巨型计算机,运算速度达每秒1亿次。1985年,华光I型汉字激光照排系统投入生产性使用。1986年,中华学习机投入生产。1987年,第一台国产的286微机——长城286正式推出。1988年,第一台国产386微机——长城386推出,中国发现首例计算机