

21世纪高等学校计算机科学与技术规划教材

计算机组成与结构

JISUANJI ZUCHENG YU JIEGOU

编著 刘丽芳 宋焕章 王明仕

主审 张春元



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

21 世纪高等学校计算机科学与技术规划教材

计算机组成与结构

编著 刘丽芳 宋焕章 王明仕

主审 张春元

北京邮电大学出版社

内容简介

计算机组成与结构或计算机组成原理是计算机科学与技术专业的一门重要的专业基础课。本书共分8章,内容包括计算机系统概论、数据表示与指令系统、存储器、处理器、控制器、输入输出子系统、并行技术和课程设计。全书每章均配有思考题与习题,本书还配有教学光盘。

本书可作为高等学校计算机组成与结构课程的教材,也可作为相关专业技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成与结构/刘丽芳,宋焕章,王明仕编著. —北京:北京邮电大学出版社,2004

ISBN 7-5635-0838-4

I. 计... II. ①刘... ②宋... ③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(2004)第 042487 号

书 名: 计算机组成与结构

编 著: 刘丽芳 宋焕章 王明仕

策 划: 三文工作室

E-mail: sanwen99@mail.edu.cn

责任编辑: 陈露晓

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(100876)

电话传真: 010-62282185(发行部) 010-62283578(传真)

经 销: 各地新华书店

印 刷: 国防科技大学印刷厂印刷

开 本: 787mm×960mm 1/16

印 张: 25.75

字 数: 488 千字

版 次: 2004 年 7 月第 1 版 2004 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 7-5635-0838-4/TP·110

定 价: 33.50 元

如有质量问题请与发行部联系

版权所有 侵权必究

21 世纪高等学校计算机科学与技术规划教材

编 委 会

主 任	陈火旺	中国工程院院士,国防科技大学教授
委 员	周立柱	清华大学计算机系主任
	杨放春	北京邮电大学计算机科学与技术学院院长
	杨学军	国防科技大学计算机学院院长
	徐晓飞	哈尔滨工业大学计算机科学与技术学院院长
	李仁发	湖南大学计算机与通信学院院长
	卢正鼎	华中科技大学计算机学院院长
	李志蜀	四川大学计算机学院院长
	戴居丰	天津大学信息学院、软件学院院长
	蒋昌俊	同济大学计算机科学与工程系主任
	何炎祥	武汉大学计算机学院院长
	周兴社	西北工业大学计算机系主任
	陈志刚	中南大学信息学院副院长
	姜云飞	中山大学软件学院院长
	周昌乐	厦门大学软件学院院长
	齐 勇	西安交通大学计算机科学与技术系主任
	赵书城	兰州大学计算机学院院长
	孟祥旭	山东大学计算机学院院长

序

自 20 世纪 80 年代以来,高等学校计算机教育发展迅速,计算机教育的内容不断扩展、程度不断加深。特别是近十年来,计算机向高度集成化、网络化和多媒体化发展的速度一日千里;社会信息化不断向纵深发展,各行各业的信息进程不断加速;计算机应用技术与其他专业的教学、科研工作结合更加紧密;各学科与以计算机技术为核心的信息技术的融合,促进了计算机学科的发展,各专业对学生的计算机应用能力也有更高和更加具体的要求。

基于近年来计算机学科的长足发展,以及国家教育部关于计算机基础教学改革的指导思路,我们确立了这套“21 世纪高等学校计算机科学与技术规划教材”的编写计划与编写思想。教材是教学过程中的“一剧之本”,是高校计算机教学的首要问题。该套系列教材编写计划的制定凝聚了编委会和作者的心血,是大家多年来在计算机学科教学和研究成果的体现,该套教材得到了陈火旺院士的亲自指导与充分肯定。

这套系列教材由北京邮电大学出版社三文工作室精心策划和组织。编写过程中,充分考虑了计算机学科的发展和《计算机学科教学计划》中内容和模块的调整,使得整套教材具有科学性和实用性。整套系列教材体系结构按课程设置进行划分。每册教材均涵盖了相应课程教学大纲所要求的内容,既具备学科设置的合理性,又符合计算机学科发展的需要。从结构上遵循教学认知规律,基本上能够满足不同层次院校、不同教学计划的要求。

各册教材的作者均为多年来从事教学、研究的专家和学者,他们有丰富的教学实践经验,所编写的教材体系结构严谨、内容充实、层次清晰、概念准确、论理充分、理论联系实际、深入浅出、通俗易懂。

教材建设是一项长期艰巨的系统工程,尤其是计算机科学技术发展迅速、内容更新快,为使教材更新能跟上科学技术的发展,我们将密切关注计算机科学技术的发展新动向,以使我们的教材编写在内容上不断推陈出新、体系上不断完善,以适应高校计算机教学的需要。

21 世纪高等学校计算机科学与技术规划教材编委会

2003 年 12 月

前 言

计算机组成与结构或计算机组成原理是高等学校计算机科学与技术学科和信息领域相关学科重要的专业基础课,它主要讨论传统的存储程序计算机的结构组成与工作原理。通过本课程的学习,主要了解电子计算机是什么,它由什么构成,它又是怎样工作的。旨在让读者知道计算机的基本概念、基本构成和基本原理,建立计算机的整机概念。

国防科技大学计算机学院是国内最早建立计算机学科的重点大学之一,拥有计算机系统结构和计算机软件与理论两个国家级重点学科,其学科综合实力在屡次学科评估一直处于国内高校计算机专业领先地位。四十多年来,学院不但成功研制了一大批水平当时处于国内领先、填补国内空白的各类电子计算机,而且为国家和军队培养了大批高级计算机专业技术人才。本书是国防科技大学计算机学院几十年来教学与科研的结晶。

本书大纲及其内容组织由集体讨论确定,第一、二、三、六章由宋焕章执笔,第四、五、七章刘丽芳执笔,第八章王明仕执笔,最后由刘丽芳统编定稿。主审张春元。

计算机学院王保恒、肖晓强等对本书的编写与出版提出了许多诚恳的意见,衷心感谢他们提供的支持与帮助。

尽管作者从事计算机科研与教学工作已有多多年,为本书的编写工作也作出了很大的努力,但由于水平有限,加之计算机科学技术日新月异,错误一定难免。敬请使用本教材的同行专家和读者不吝赐教、批评指正。

编者 2004 年 4 月
于国防科技大学

目 录

1 计算机系统概论	(1)
1.1 计算机的发展与应用	(1)
1.1.1 计算机发展简史	(1)
1.1.2 计算机的应用	(7)
1.1.3 计算机的发展趋势	(13)
1.2 计算机系统组成	(15)
1.2.1 存储程序原理	(15)
1.2.2 计算机硬件系统	(16)
1.2.3 计算机软件系统	(19)
1.2.4 计算机系统层次结构	(23)
1.3 计算机的性能指标和分类	(26)
1.3.1 计算机的性能指标	(26)
1.3.2 计算机的工作特点	(29)
1.3.3 计算机的分类	(30)
思考题与习题	(35)
2 信息处理接口——数据表示与指令系统	(36)
2.1 计算机的数据表示	(36)
2.1.1 定点数据	(36)
2.1.2 浮点数据	(40)
2.1.3 字符串数据	(44)
2.1.4 堆栈数据	(48)
2.2 计算机的指令	(51)
2.2.1 指令格式	(51)
2.2.2 指令类型	(57)
2.3 计算机的寻址技术	(66)
2.3.1 基本寻址技术	(66)
2.3.2 复合寻址技术	(69)
2.4 指令系统	(72)

2.4.1 指令系统设计要求	(73)
2.4.2 精简指令系统	(75)
2.4.3 指令系统设计实例	(77)
思考题与习题	(83)
3 信息的存储——存储器	(85)
3.1 存储器概述	(85)
3.1.1 存储器的分类	(85)
3.1.2 主存储器技术指标	(89)
3.1.3 主存储器结构	(92)
3.2 主存储器芯片	(95)
3.2.1 静态随机存取存储器 SRAM	(96)
3.2.2 动态随机存取存储器 DRAM	(100)
3.2.3 只读存储器 ROM	(108)
3.3 主存储器设计	(115)
3.3.1 主存储器逻辑设计	(115)
3.3.2 内存条的选择与安装	(123)
3.3.3 提高主存性能的方法	(125)
3.4 辅助存储器	(129)
3.4.1 磁表面存储器概述	(129)
3.4.2 磁盘存储器	(133)
3.4.3 光盘存储器	(137)
3.5 存储系统	(139)
3.5.1 存储器的层次结构	(139)
3.5.2 高速缓冲存储器 Cache	(142)
3.5.3 虚拟存储器	(145)
思考题与习题	(148)
4 信息的加工处理——处理器	(150)
4.1 基本运算操作	(150)
4.1.1 算术微操作	(150)
4.1.2 逻辑和移位微操作	(152)
4.2 定点加(减)法运算	(160)
4.2.1 补码加(减)法运算	(160)

4.2.2 二进制补码加法器	(163)
4.2.3 多功能算术逻辑运算部件 ALU	(167)
4.3 定点乘法运算	(171)
4.3.1 原码一位乘法	(171)
4.3.2 补码一位乘法	(175)
4.3.3 快速乘法	(185)
4.4 浮点运算	(192)
4.4.1 浮点加(减)运算	(193)
4.4.2 浮点乘法运算	(199)
4.4.3 浮点除法运算	(202)
4.5 运算器组织	(204)
4.5.1 运算器的基本结构	(204)
4.5.2 运算器组成实例	(207)
4.5.3 位片式运算器	(211)
思考题与习题	(211)
5 信息处理的控制——控制器	(215)
5.1 控制器及其控制方式	(215)
5.1.1 控制器的基本功能	(215)
5.1.2 控制器的控制方式	(217)
5.2 时标系统	(220)
5.2.1 指令周期与节拍信号	(220)
5.2.2 指令周期与存储周期	(222)
5.2.3 节拍的划分	(223)
5.3 控制器的基本组织	(225)
5.3.1 控制寄存器	(225)
5.3.2 控制寄存器的控制信号	(226)
5.4 组合逻辑控制器	(227)
5.4.1 设计方法	(227)
5.4.2 指令流程分析	(229)
5.4.3 微操作控制部件的设计	(231)
5.5 微程序控制器	(235)
5.5.1 微程序控制基本概念	(235)

5.5.2	微程序控制基本原理	(237)
5.5.3	微指令编码和微指令格式	(239)
5.5.4	微指令的顺序控制	(249)
	思考题与习题	(258)
6	信息的交换——输入/输出子系统	(261)
6.1	I/O 设备	(261)
6.1.1	外部设备概述	(261)
6.1.2	输入设备	(263)
6.1.3	输出设备	(269)
6.2	I/O 控制	(275)
6.2.1	I/O 操作与 I/O 组织	(275)
6.2.2	I/O 接口	(280)
6.3	程序直接控制传送	(287)
6.3.1	无条件程序控制传送	(287)
6.3.2	程序查询控制传送	(287)
6.4	程序中断控制传送	(289)
6.4.1	中断的基本概念	(289)
6.4.2	中断系统	(292)
6.4.3	程序中断控制传送及其接口	(300)
6.5	直接内存存取 DMA	(304)
6.5.1	DMA 特点和工作方式	(304)
6.5.2	DMA 接口与传送过程	(307)
6.5.3	DMA 接口类型	(310)
6.5.4	DMA 举例	(313)
6.6	总线	(315)
6.6.1	总线的基本概念	(315)
6.6.2	总线系统的结构	(318)
6.6.3	总线系统操作控制	(321)
	思考题与习题	(332)
7	信息的高效处理——并行技术	(334)
7.1	概述	(334)
7.1.1	并行性概念	(335)

7.1.2 单处理机系统中的并行机制	(337)
7.2 流水线技术	(340)
7.2.1 指令流水线	(341)
7.2.2 指令流水线冲突	(344)
7.3 多处理机技术	(354)
7.3.1 弗林分类法	(355)
7.3.2 系统拓扑结构	(356)
7.3.3 MIMD 系统的体系结构	(359)
思考题与习题	(361)
8 课程设计——计算机组成实验	(364)
8.1 设计目的和步骤	(364)
8.1.1 设计目的与内容	(364)
8.1.2 设计步骤	(365)
8.2 指令系统设计	(367)
8.2.1 指令系统设计的基本要求	(368)
8.2.2 指令的设计	(369)
8.3 微处理器系统设计	(371)
8.3.1 系统设计	(371)
8.3.2 功能部件的实现	(374)
8.4 计算机系统综合实验平台	(386)
8.4.1 功能描述	(387)
8.4.2 FPGA 引脚配置表	(391)
8.5 计算机调试	(393)
8.5.1 仿真调试	(394)
8.5.2 计算机硬件调试	(397)
参考文献	(398)

1 计算机系统概论

人类已经迈入 21 世纪,世界进入了以信息技术为支撑的知识经济时代和信息化社会,电脑化、数字化、信息化的浪潮汹涌澎湃,人们无时无刻不在感受着电脑带来的神奇、魅力和风采。电脑就是电子计算机,是信息加工和信息处理的工具,它具有超凡的记忆功能,能快速自动地完成各种复杂的算术运算和逻辑运算。如果说人类制造的其他工具是人类四肢五官的延伸,那么用电子计算机代替人脑进行信息加工与信息处理,具有计算、模拟、分析问题、操纵机器和处理事务等能力,可以说是人类大脑的延伸。电子计算机是有“思维”能力的机器,因此人们习惯称电子计算机为电脑。

电子计算机是什么?它是怎样构成的?又是怎样工作的?本书旨在系统地探讨电子计算机的基本概念、基本结构和工作原理。作为开篇之章,我们将首先介绍计算机及其发展历史;计算机硬件、软件的组成概况及其系统层次结构;计算机的性能指标、分类方法及工作特点;计算机应用类型及发展瞻望。本章概述,以期使读者对电子计算机先有一大体了解,并为学习后续章节奠定基础。

1.1 计算机的发展与应用

电子计算机的发明、发展和普及是 20 世纪最引人注目的事件之一。自 1946 年第一台电子计算机问世以来,计算机科学技术以磅礴之势迅猛发展,电子计算机以非凡的渗透力和亲合力深入到人类工作、生活、学习的各个领域。电子计算机对人类社会影响之巨大,意义之深远,无论怎样评价都不为过。没有哪个发明像电子计算机这样对整个人类文明和社会进步产生着如此巨大、如此深刻的影响,推动着人类社会一日千里地向前发展,使“一天等于 20 年”的梦想成为现实。

1.1.1 计算机发展简史

人类社会的发展历史,可以说始终是伴随着计算及其计算工具的产生、应用和发展的历史。人类通过劳动和智慧创造了工具,用以延伸扩展自己的功能。用机械工具延伸扩展了四肢的功能;用测试工具延伸扩展了五官的功能;用计算工具延

伸扩展了大脑的功能。

人类从记数、计数到计算,经历了漫长的历史阶段,即从手工阶段、机械阶段,一直发展到现今的电子阶段。

一、手工计算阶段

在远古时代,人类还只能通过穴石、结绳和刻木等简单方法记载发生过的事件。当它们所代表的具体事件无法分辨时,留下的就是事件多少的记录。因此,穴石、绳结、刻痕只是用于记数,它们就是记数的简单工具。

人类当然不能仅仅满足于对数的简单记录,而迫切需要对数进行比较即进行计算。计算是人类与自然界进行斗争的重要活动之一。人们发现,十个指头是最方便、最简单的计算工具。采用十个指头对数进行度量,因而产生了十进制计数法,这是一大飞跃。它延伸扩展了大脑的计算功能,以至于现在还被不少人用作计算的工具,而十进制计数法更是今天数学体系的计数制基础。

春秋战国时期,中国人发明了算筹。这些用小竹签或小木杆做成的计算工具装在一个小袋中,系于身上,其灵活方便真有点类似现代人随身携带的袖珍电子计算器。算筹依照一定的规则进行加减等计算,是一种很受欢迎的计算工具。在当时,它还是一种社会地位与身份的象征。

据史料记载,中国在公元前五六世纪已出现了算盘,这是人类应用时间最长、功能最完善的非自然化计算工具。人类不但制作了各种各样精巧美观的算盘,还形成了一整套的运算口诀和操作方法。口诀是针对算盘的结构特点设计的基本操作命令,用现代电子计算机的术语来说,它就是算盘的指令系统或者珠算语言。对于不同的计算操作,可使用该指令系统的不同序列。珠算口诀至今仍是许多中小学要求背诵的经典内容之一。

算盘的发明是人类计算工具史上的一次大飞跃,是中华民族对人类文明的重大贡献之一。算盘先后传至日本、朝鲜、南洋,后来传至欧洲。迄今为止,它仍是人类使用最多、最有效、价格最低廉的计算工具之一。

1621年,计算尺问世。这种可滑动的尺子是20世纪50年代和60年代工科大学生必备的计算工具。它以长度来模拟数值的大小,因此是一种模拟计算工具。它除了可以进行一般的四则运算外,还可进行一些比较复杂的非四则运算,如三角函数、对数等。

从穴石、绳结、刻痕、十指、算筹,到算盘及计算尺,都只能算是手工计算。由于人参与计算过程,故人的技能水平、智力精力都直接影响计算的速度和正确性,而且,人工计算对许多大型复杂问题的计算则往往显得力不从心、无能为力。

二、机械计算阶段

1642年,法国人Pascal为了帮助做收税员的父亲进行计算,发明了一个用齿

轮制作的加法器,这个叫“Pascalene”的机器有八个可动的刻度盘,最多可把八位长的数字予以相加,这是世界上第一部机械加法器。1666年,在英国 Samuel Morland 发明了一部可以计算加数及减数的机械计算器。1673年,德国人 Leibnitz 改进了 Pascal 的设计,增加了乘除法运算,制造了一部踏式圆柱形转轮的计算器,叫“Stepped Reckoner”,这部计算器可以把重复的数字相乘,并自动加入到加数器里。1773年,Philipp-Matthaus 制造及卖出了少量精确至 12 位的计算机器。1775年,The Third Earl of Stanhope 发明了一部与 Leibniz 相似的乘法计算器。1786年,J. H. Mueller 设计了一部差分机。

由于生产技术的限制,直到 19 世纪,手摇计算机才得以商品化生产。这一时期的机械式计算工具虽然取得了较大的成功,但机器仍要由人按照一定的步骤操作。从提供操作数,到选择操作,安排计算结果,整个过程中频繁的人工干预限制了计算速度的提高。

1801年,Joseph-Marie Jacquard 的织布机使用连续按序的打孔卡控制编织的花样。1812年,英国人 Babbage 首先提出了整个计算过程自动化的概念,设计了第一台通用自动时序控制机械式计算机。遗憾的是,由于当时技术水平的限制,这台计算机未能制造出来。但他提出的自动计算机必须具有输入、输出、处理、存储、控制五大功能,以及计算机只有具有记忆功能,能记住数据和操作步骤,并按这些步骤规定对机器进行自动控制,才能实现自动计算的思想,的确是对现代电子计算机的最伟大贡献之一。因此,人们称 Babbage 为现代计算机之父。

在机械式计算机中,尽管有个别产品开始引入了一些电学内容,但基本上都是从属于机械的,也还没有进入逻辑运算领域。而在这之后,随着电子技术的飞速发展,计算机就开始了由机械向电子时代的过渡,电子器件越来越成为计算机的主体,机械部件越来越处于从属地位,二者的地位发生了变化,计算机也开始了质的转变。

在 IT 业的起始时期,那时除 IBM 公司外,几乎所有的电器公司都在进行电器计算机(以继电器为核心元件)的制造,而且在意大利,手摇式机械计算机的生产规模也非常之大。电子计算机的使用不方便和价格高昂,使得机械计算机与它的市场竞争延续到 1965 年。

三、电子计算阶段

中国是现代二进制理论的最早发明者。古人用的符号为“爻(音 yáo)”,爻分阳爻和阴爻,可以说阳爻对应 1,阴爻对应 0。著名的易经将八卦和六十四卦分别用 3 个爻和 6 个爻的组合表示。Leibniz 曾致信康熙皇帝说“伏羲在其推演的八卦中使用了二进制算术”。遗憾的是,这种二进制算术在中国未得到重视与发展,更谈不上应用到计算工具中去了。

1854年,英国数学家 George Boole 第一次把运算和逻辑理论建立在“0”和“1”两种值以及“与”、“或”、“非”三种基本逻辑运算的基础上。布尔代数为二进制的数

字计算机奠定了理论基础,也是现代一切数字设备的理论基础。

20 世纪电子技术和电子器件的不断发展为电子计算机的诞生与发展铺平了道路。

1939 年,美国依阿华大学教授 V. Atanasoff 首次使用电子元件按二进制原理制造了一台电子管计算机。1942 年,又在研究生 Clifford Berry 的协助下制造出了一台电子管计算机 ABC (Atanasoff Berry Computer)。

1943 年,美军虏获了德军著名的 Leopold 重炮。为研究这种重炮,美军军械部每天要向阿伯丁试验场提供 6 张火力表。一张火力表约需 3000 个不同的弹道参数,每一个弹道参数都需用几个不同的微分方程来计算。就单个参数而言,计算飞行时间为 60 秒的弹道,用手摇式计算器需要 20 小时;即使采用新式的微分分析仪,也需要 20 分钟。美军军械部为此雇用了 200 多名计算快手,还是力不从心。他们迫切需要制造一种新的计算工具,把计算弹道参数的时间提高到以秒计。

美军军械部找到宾夕法尼亚大学的摩尔电机学院,希望由他们研制新的计算机。到 1945 年春天,他们制造的 ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer) 开始试运行。这台机器每秒能进行 5000 次加法运算,用其计算弹道参数,60 秒种射程的弹道计算,由原来的 20 分钟缩短为 30 秒! ENIAC 的设计者 Eckert 和 Mauchly 高兴万分。一直关心这台机器研究的著名数学家 V. Neumann (冯·诺依曼) 又请了研制原子弹的学者在这台机器上进行了有关原子裂变的能量计算,大获青睐。ENIAC 为世界上第一颗原子弹的早日问世和电子计算机的发展立下了汗马功劳。

从现在的观点看来,ENIAC 实在是一个庞然大物。它高 8 英尺、宽 3 英尺、长 100 英尺,装有 18000 个真空管、1500 个电子继电器、70000 个电阻、18000 个电容,总重量达 30 吨。它的性能也实在微不足道:每秒仅仅 5000 次加法运算或 50 次乘法运算,还可以进行平方、立方、 $\sin$ 和 $\cos$ 函数数值运算等。但它于 1946 年装备在阿伯丁军械试验场的弹道实验室后,除了常规的弹道计算外,还涉及到天气预报、原子核能、风洞实验等诸多领域。1949 年,它经过 70 小时的计算,将圆周率计算到小数点后 2037 位,这是人类第一次用机器计算出来的最周密的数值。ENIAC 于 1955 年退休,10 年间它运行了 8023 小时,它的算术运算量比有史以来人类大脑所有运算的总和还要大得多。

更重要的是,ENIAC 是个划时代的创举,它成为现代数字计算机的始祖。3 年后,英国剑桥大学开发的 EDSAC 被认为是人类的第一台通用电子计算机。从此,人类开始进入了电子计算的电脑时代。

四、电子计算机时代

从 ENIAC 和 EDSAC 起,至今不过半个多世纪。然而,计算机发展之迅猛、普及应用之广泛、对人类社会影响之深远,是历史上任何学科所无法比拟的。迄今为

止,电子计算机的发展已经历了四代。在推动计算机发展的诸多因素中,电子器件的更新是计算机划代的最重要标志。

1. 电子管时代

1906年,美国人发明了电子管,这为电子计算机的发展奠定了基础。1935年,成立刚刚十年的IBM公司推出了IBM 601机。这是一台能在一秒钟算出乘法的穿孔卡片式计算机,无论在自然科学,还是在商业意义上都具有重要的地位,前后大约制造了1500台。1937年,英国剑桥大学的Alan M. Turing (1912—1954)出版了他的论文,并提出了被后人称之为“图灵机”的数学模型。同年,Bell试验室展示了用继电器表示二进制的计算装置,尽管它只是一个展示品,但却是第一台二进制电子计算机。1938年,柏林的Konrad Zuse和他的助手们完成了一个机械可编程二进制形式的计算机,其理论基础是布尔代数,后来它被命名为Z1计算机。它的功能比较强大,用类似电影胶片的東西作为存储介质,可以运算七位指数和16位小数,可以用一个键盘输入数字,用灯泡显示结果。

1939年,二次世界大战开始,军事上的急需大大促进了计算机技术的发展。1941年12月,德国Zuse完成了Z3计算机的研制。这是第一台可编程的电子计算机,可处理7位指数和14位小数,使用了大量的真空管。Z3计算机每秒种能作3~4次加法运算,一次乘法需要3~5秒。1943年1月,自动顺序控制计算机Mark I在美国研制成功。1946年,第一台真正意义上的数字电子计算机ENIAC研制成功。

通常,将1943年到1959年这一时期的电子计算机称作第一代计算机。第一代计算机以电子管作为逻辑元件,用阴极射线管、声汞延迟线、磁鼓等作为主存储器,数据主要是定点表示,用机器语言或汇编语言编写程序。除了前述的ENIAC和EDSAC外,最具代表性的机器还有1946年以V. Neumann为首研制的存储程序计算机IAS,1951年的UNIVAC—1和1956年的IBM704等。我国自己研制的第一代计算机有104机、103机、119机等。

2. 晶体管时代

电子管时代的计算机尽管已经步入了现代计算机的范畴,但其体积之大、能耗之高、故障之多、价格之贵大大制约了它的普及应用。直到晶体管被发明出来,电子计算机才又找到了一个新的腾飞的起点,其发明人W. B. Shockley获1956年诺贝尔物理奖。

通常,人们将从20世纪50年代中、后期到60年代中期的晶体管计算机称作第二代计算机。其标志是以晶体管作逻辑元件,用磁芯作主存储器元件,还引入了浮点运算硬件。软件方面产生了FORTRAN、COBOL、ALGOL等高级语言,从而大大简化了程序设计;建立了子程序库和批处理的管理程序。晶体管计算机体积小、功耗低、速度快、可靠性高,受到了人们的喜爱与欢迎。

第二代计算机不仅使电子计算机在军事领域和尖端技术上应用更加广泛,而且在气象预报、数据处理、工程设计及其他科学研究领域逐渐开始推广。同时,开始重视计算机产品的继承性,形成了适应一定范围的计算机的“族”,即“系列机”的概念。计算机的产业化思想不仅缩短了机器的研制周期,降低了生产成本,而且实现了程序的兼容,方便了机器的更新与升级。第二代计算机最有代表性的机器有 IBM7040、7070、7090, CDC6600/7600 系列等。国产晶体管计算机的代表有 109 机、441B 机、108 机等。

值得一提的是,1964 年由控制数据公司(CDC)在 Seymour Cray 主持下研制成功的 CDC6600 获得巨大成功,使该公司在研究生产科学计算高速大型计算机方面处于领先地位。机器的推出,深受美国和西欧原子物理、航空航天、地球气象等研究机构和大学的欢迎。之后推出的 CDC7600 更是成为 20 世纪 60 年代末期性能最高的通用计算机。

3. 小规模集成电路时代

尽管晶体管的采用大大缩小了计算机的体积、降低了价格、减少了故障,但离人们的要求仍相差甚远;而且各行业对计算机也产生了较大的需求,生产功能更强、体积更小、重量更轻、价格更低的机器成了当务之急。集成电路的发明如同久旱普降的“及时雨”,迎来了电子计算机发展的春天。集成电路高度的集成性,不仅仅使体积得以减小、功耗降低,更使速度加快、故障减少,其发明人 Jack Kilby 获 2000 年诺贝尔物理奖。人们开始采用集成电路制造革命性的微处理器,计算机技术经过多年的积累,终于驶上了用硅铺就的高速公路。

通常,人们将从 20 世纪 60 年代中期到 70 年代中期以集成电路作为基础器件的计算机称为第三代计算机。第三代计算机的产生与发展,是微电子技术 with 计算机技术相结合的一次重大突破。第三代计算机主要采用小规模集成电路和中规模集成电路;半导体存储器逐渐取代磁芯存储器;广泛使用微程序技术;引进了多道程序和并行处理等新技术;软件方面,操作系统日趋成熟。

集成电路计算机的主要代表有 IBM360 系列、CYBER 系列等。国产机器代表有 150 机、151 机、DJS—2000 系列、DJS—1000 系列等。

值得一提的是,IBM360 系列是当时影响最大的第三代计算机,IBM 公司也因此而成为世界计算机产业的霸主。1964 年发布时就有大、中、小型等六个型号,平均速度从每秒几千次到一百万次,它的主要特点是系列化、通用化和标准化。所谓系列化,是指它的不同档次机器采用相同的体系结构,在数据表示、字符编码、指令系统、中断系统、控制方式、I/O 操作等方面保持高度统一。系列化保证了不同档次机器程序兼容,用户更新升级时,原用在低档机器中的程序可不加修改就可用于高档机器中。所谓通用化,是指机器的指令系统非常丰富,可应用于不同领域的科学计算、数据处理和实时控制。所谓标准化,即系统采用积木式结构,采用标准的