

免费提供  
电子教案

高等院校规划教材  
计算机科学与技术系列

# 计算机组成原理

黄颖 何利 易芝 谭歆 编著



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

TP303/171

2008

高等院校规划教材·计算机专业系列

# 计算机组成原理

黄颖 何利 易芝 谭歆 编著

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理 / 黄颖等编著. — 北京: 机械工业出版社, 2008.  
(高等院校规划教材·计算机专业系列)  
ISBN 978-7-111-23991-8

I. ①计… II. ①黄… III. ①计算机组成原理—高等学校—教材  
IV. ①TP303

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第061283号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策 划: 郝 慧  
责任编辑: 谭 歆  
责任印制: 孙 颖

三河市兴泰印务有限公司印刷

2008年6月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·17印张·451千字

0001-2000册

书 号: ISBN 978-

定价: 28.00元

凡购本书, 如蒙赠

请至各书店或

计算机书店

订购: (010)

计算机书店

或向本社

机械工业出版社

本书阐述了计算机硬件体系的组成原理和实现。全书分 10 章,第 1~3 章介绍了计算机组成的基本概念及相关基础;第 4~9 章介绍了计算机组成的各部件的原理及其实现;第 10 章介绍了计算机体系的一个重要发展方向,即并行计算机体系结构。本书结构优化,内容精炼,重点突出,并配有习题、实践项目和电子教案。

本书可作为理工科大学“计算机组成原理”课程的教科书,也可供从事计算机领域相关工作的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理/黄颖等编著. —北京:机械工业出版社,2008.5  
(高等院校规划教材·计算机科学与技术系列)  
ISBN 978-7-111-23991-8

I. 计… II. 黄… 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(2008)第 061283 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策 划: 赵 慧

责任编辑: 赵 慧

责任印制: 杨 曦

三河市宏达印刷有限公司印刷

2008 年 6 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·17 印张·421 千字

0001—5000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-23991-8

定价: 28.00 元

凡购本书,如有缺页,倒页,脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379753 88379739

封面无防伪标均为盗版



## 出版说明

计算机技术的发展极大地促进了现代科学技术的发展，明显地加快了社会发展的进程。因此，各国都非常重视计算机教育。

近年来，随着我国信息化建设的全面推进和高等教育的蓬勃发展，高等院校的计算机教育模式也在不断改革，计算机学科的课程体系和教学内容趋于更加科学和合理，计算机教材建设逐渐成熟。在“十五”期间，机械工业出版社组织出版了大量计算机教材，包括“21世纪高等院校计算机教材系列”、“21世纪重点大学规划教材”、“高等院校计算机科学与技术‘十五’规划教材”、“21世纪高等院校应用型规划教材”等，均取得了可喜成果，其中多个品种的教材被评为国家级、省部级的精品教材。

为了进一步满足计算机教育的需求，机械工业出版社策划开发了“高等院校规划教材”。这套教材是在总结我社以往计算机教材出版经验的基础上策划的，同时借鉴了其他出版社同类教材的优点，对我社已有的计算机教材资源进行整合，旨在大幅提高教材质量。我们邀请多所高校的计算机专家、教师及教务部门针对此次计算机教材建设进行了充分的研讨，达成了许多共识，并由此形成了“高等院校规划教材”的体系架构与编写原则，以保证本套教材与各高等院校的办学层次、学科设置和人才培养模式等相匹配，满足其计算机教学的需要。

本套教材包括计算机科学与技术、软件工程、网络工程、信息管理与信息系统、计算机应用技术以及计算机基础教育等系列。其中，计算机科学与技术系列、软件工程系列、网络工程系列和信息管理与信息系统系列是针对高校相应专业方向的课程设置而组织编写的，体系完整，讲解透彻；计算机应用技术系列是针对计算机应用类课程而组织编写的，着重培养学生利用计算机技术解决实际问题的能力；计算机基础教育系列是为大学公共基础课层面的计算机基础教学而设计的，采用通俗易懂的方法讲解计算机的基础理论、常用技术及应用。

本套教材的内容源自致力于教学与科研一线的骨干教师与资深专家的实践经验和研究成果，融合了先进的教学理念，涵盖了计算机领域的核心理论和最新的应用技术，真正在教材体系、内容和方法上做到了创新。同时本套教材根据实际需要配有电子教案、实验指导或多媒体光盘等教学资源，实现了教材的“立体化”建设。本套教材将随着计算机技术的进步和计算机应用领域的扩展而及时改版，并及时吸纳新兴课程和特色课程的教材。我们将努力把这套教材打造成为国家级或省部级精品教材，为高等院校的计算机教育提供更好的服务。

对于本套教材的组织出版工作，希望计算机教育界的专家和老师们能提出宝贵的意见和建议。衷心感谢计算机教育工作者和广大读者的支持与帮助！

机械工业出版社

# 前 言

计算机组成原理是计算机科学和计算机工程专业的必修课，是继续深入学习计算机其他知识的基础课程。

本书主要讲述计算机系统的内部工作机制和组成原理，旨在使读者掌握计算机中各功能部件的工作原理、逻辑实现和设计方法，同时通过各个功能部件的相互联系有序地构成一个整体。为今后参加计算机系统的分析、设计和开发等工作打下坚实的基础。

本书首先对计算机的体系结构进行了整体描述，然后分别介绍各个部件，让读者了解各个部件的工作原理和逻辑实现，最后讲解各个部件在 CPU 的指挥下如何协同完成各种指令，以及让计算机正常地工作。这种合一分一合的方式可以让读者在了解各个部件的工作原理时不至于割断与其他部件的联系，而这种联系却正体现了计算机设计的综合性和复杂性。

全书共分为 10 章。第 1 章介绍了计算机的发展简史、计算机的层次结构、冯·诺依曼型计算机的体系结构和计算机的性能评价方法。第 2 章介绍了计算机组成的运算基础，包括各种运算的工作原理。第 3 章介绍了数字电路和逻辑电路基础，包括构成计算机的各种基本逻辑元件和集成设计方法。第 4 章介绍了系统总线的仲裁、总线的同步和总线的通信控制等，并以现在比较流行的几种总线来加深对这些原理的理解。第 5 章介绍了计算机的存储系统，主要介绍了主存储器、外部存储器、Cache 和虚拟存储器的工作原理。第 6 章介绍了输入输出系统。第 7~9 章介绍了计算机的最重要的部件——中央处理器，同时特别介绍了其中的控制器部分。并行处理是现代计算机体系发展的一个重要方向，第 10 章介绍了并行处理的基本原理和一些具体实现。每章后都配有习题，可以帮助读者加深对每章中原理的理解和掌握。附录中给出的是实践项目，通过实践可以使读者更深入地掌握计算机的各种原理。为方便读者学习，本书提供了电子教案，可从 [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com) 免费下载。

本课程建议授课学时为 48 学时，实验学时为 16 学时。

本书第 1~4 章和第 10 章和附录由黄颖编写，第 7 和 9 章由何利编写，第 5 和 6 章由易芝编写，第 8 章由谭歆编写，最后由黄颖统一定稿。王卫星、李伟生、程克非、薛峙、瞿中和王练等为本书提供了部分资料和很多重要的建议。在此向一切为本书的出版付出劳动的老师们表示感谢，同时也要感谢重庆邮电大学计算机学院的领导和老师给予的大力支持和帮助。

书中内容存在不妥之处，欢迎读者批评指正。

编 者

# 目 录

出版说明

前言

第 1 章 计算机系统概述	1
1.1 计算机发展简史	1
1.1.1 第一代计算机——电子管电子计算机	2
1.1.2 第二代计算机——晶体管电子计算机	3
1.1.3 第三代计算机——集成电路计算机	4
1.1.4 第四代计算机——超大规模集成电路计算机	6
1.1.5 第五代计算机——普适计算机	6
1.2 计算机的分类	7
1.3 计算机系统简介	10
1.3.1 计算机系统的层次结构	10
1.3.2 计算机体系结构和计算机组成	12
1.4 计算机的基本组成	13
1.4.1 冯·诺伊曼计算机的特点	13
1.4.2 计算机的硬件框图	13
1.5 计算机性能的评价	14
1.5.1 性能评价的时间因素	14
1.5.2 性能评价程序的选择	15
1.6 计算机系统设计的准则	16
1.7 本书结构	17
习题	17
第 2 章 运算基础	18
2.1 数制和数制转换	18
2.1.1 数制	18
2.1.2 数制转换	19
2.2 数据的编码和表示	20
2.2.1 无符号数	20
2.2.2 有符号数	20
2.2.3 浮点数表示	23
2.2.4 二进制信息编码	27
2.3 定点数的运算	28
2.3.1 移位运算	28
2.3.2 加减法运算	30
2.3.3 乘法运算	32
2.3.4 除法运算	35
2.4 浮点数的运算	37

2.4.1 浮点数的加减法运算 .....	37
2.4.2 浮点数的乘法除法运算 .....	38
2.4.3 保证位 .....	40
2.5 检错码和纠错码 .....	40
2.5.1 检错和纠错的理论基础 .....	40
2.5.2 奇偶校验 .....	41
2.5.3 CRC 校验 .....	41
2.5.4 汉明码 .....	42
本章小结 .....	45
习题 .....	45
<b>第 3 章 数字电路和逻辑电路基础</b> .....	<b>46</b>
3.1 布尔代数 .....	46
3.2 逻辑函数的化简 .....	47
3.2.1 代数化简法 .....	47
3.2.2 卡诺图化简法 .....	47
3.3 组合逻辑电路 .....	49
3.3.1 加法器 .....	49
3.3.2 译码器 .....	52
3.3.3 算术逻辑单元 .....	52
3.3.4 数据选择器 .....	54
3.4 时序逻辑电路 .....	55
3.4.1 触发器 .....	55
3.4.2 寄存器和移位寄存器 .....	57
3.4.3 计数器 .....	58
3.5 阵列逻辑电路 .....	59
3.5.1 只读存储器 .....	60
3.5.2 随机存取存储器 .....	62
3.5.3 可编程逻辑器件 .....	63
3.6 VHDL 硬件描述语言 .....	65
3.6.1 VHDL 语法 .....	66
3.6.2 VHDL 实例 .....	68
3.6.3 VHDL 工具介绍 .....	69
本章小结 .....	70
习题 .....	71
<b>第 4 章 系统总线</b> .....	<b>72</b>
4.1 系统总线概述 .....	72
4.1.1 总线的分类 .....	73
4.1.2 总线的特性和性能指标 .....	74
4.2 总线的通信方式 .....	76
4.2.1 同步通信方式 .....	76
4.2.2 异步通信方式 .....	77



4.3	总线仲裁	78
4.3.1	集中式仲裁方式	79
4.3.2	分布式仲裁方式	80
4.4	总线结构	81
4.4.1	单总线结构	81
4.4.2	多总线结构	81
4.5	常用高速总线标准	82
4.5.1	PCI	82
4.5.2	AGP	87
4.5.3	PCI Express	88
	本章小结	91
	习题	91
<b>第5章</b>	<b>存储器</b>	<b>92</b>
5.1	概述	92
5.1.1	存储器的分类	92
5.1.2	存储器的层次结构	93
5.2	主存储器	94
5.2.1	主存储器的基本结构	94
5.2.2	主存储器的技术指标	96
5.2.3	半导体存储器接口的基本技术	97
5.2.4	高级 DRAM 技术	101
5.3	辅助存储器	102
5.3.1	辅助存储器的种类与技术指标	103
5.3.2	硬磁盘存储器	104
5.3.3	磁盘阵列存储器	107
5.3.4	光盘存储器	111
5.3.5	磁带存储器	112
5.4	Cache	112
5.4.1	Cache 的工作原理	113
5.4.2	地址映射	114
5.4.3	替换策略	118
5.4.4	Cache 写策略	119
5.4.5	Cache 的性能分析	119
5.4.6	改进 Cache 性能的措施	120
5.5	虚拟存储器	120
5.5.1	虚拟存储器的基本原理	120
5.5.2	虚拟存储器的管理	125
5.5.3	快表 TLB	125
5.5.4	Pentium 处理机的虚拟存储器技术	126
	本章小结	127
	习题	127



<b>第 6 章 输入输出系统</b> .....	128
<b>6.1 I/O 概述</b> .....	128
6.1.1 I/O 接口的功能及组成 .....	128
6.1.2 I/O 接口与 I/O 端口 .....	130
6.1.3 I/O 端口的编址方式 .....	130
<b>6.2 程序查询方式</b> .....	131
6.2.1 程序查询的基本思想 .....	131
6.2.2 程序查询方式的工作流程 .....	131
<b>6.3 程序中中断方式</b> .....	132
6.3.1 中断的基本概念 .....	132
6.3.2 中断处理流程 .....	134
6.3.3 中断向量 .....	135
6.3.4 中断判优逻辑 .....	135
6.3.5 中断的嵌套 .....	137
<b>6.4 DMA 方式</b> .....	137
6.4.1 DMA 的工作方式 .....	137
6.4.2 DMA 接口组成 .....	139
6.4.3 DMA 的工作过程 .....	140
<b>6.5 I/O 通道和 I/O 处理机</b> .....	142
6.5.1 I/O 通道的种类和功能 .....	142
6.5.2 通道型 I/O 处理机和外围处理机 .....	144
<b>6.6 I/O 接口标准</b> .....	145
6.6.1 IDE 和 SATA .....	146
6.6.2 USB 和 FireWire .....	146
本章小结 .....	147
习题 .....	148
<b>第 7 章 CPU 的结构与功能</b> .....	149
<b>7.1 CPU 的功能</b> .....	149
<b>7.2 CPU 的结构</b> .....	150
7.2.1 CPU 的结构框图 .....	150
7.2.2 算术逻辑单元和控制器 .....	151
7.2.3 CPU 的寄存器 .....	151
<b>7.3 指令周期及其数据通路</b> .....	153
7.3.1 CPU 的执行过程 .....	153
7.3.2 指令周期的基本概念 .....	155
7.3.3 数据通路及其基本要素 .....	156
7.3.4 指令子周期的数据通路 .....	157
<b>7.4 Pentium 处理器</b> .....	159
本章小结 .....	168
习题 .....	168
<b>第 8 章 指令系统</b> .....	169

8.1 机器指令 .....	169
8.1.1 指令的一般书写格式 .....	169
8.1.2 指令字长 .....	171
8.2 操作数的类型、大小和存储 .....	171
8.2.1 操作数类型和大小 .....	171
8.2.2 数据在存储器中的存放方式 .....	172
8.3 操作类型 .....	173
8.3.1 数据传送类 .....	173
8.3.2 算术运算类 .....	173
8.3.3 逻辑运算类 .....	173
8.3.4 控制传送类 .....	174
8.3.5 输入输出类 .....	177
8.3.6 系统控制类 .....	177
8.4 寻址技术 .....	177
8.4.1 立即数寻址 .....	178
8.4.2 寄存器寻址 .....	178
8.4.3 存储器寻址 .....	178
8.4.4 寄存器和存储器混合寻址 .....	179
8.4.5 相对寻址 .....	180
8.4.6 堆栈寻址 .....	181
8.5 指令集结构的功能设计 .....	182
8.5.1 复杂指令系统计算机 .....	182
8.5.2 精简指令系统计算机 .....	182
8.5.3 CISC 与 RISC 的比较 .....	184
8.6 指令系统的举例和设计 .....	185
8.6.1 SPARC 的指令系统 .....	186
8.6.2 Pentium 微处理器的指令系统 .....	190
本章小结 .....	197
习题 .....	197
<b>第9章 控制器</b> .....	<b>199</b>
9.1 控制器的功能 .....	199
9.1.1 控制器的功能 .....	199
9.1.2 控制器的组成 .....	199
9.1.3 微操作命令分析 .....	200
9.1.4 控制信号 .....	204
9.2 硬布线控制器 .....	206
9.2.1 硬布线控制器概述 .....	206
9.2.2 硬布线控制器的结构 .....	207
9.2.3 硬布线控制器的设计步骤 .....	208
9.3 微程序控制器 .....	209

9.3.1	微程序控制器概述	209
9.3.2	微程序控制器的结构框图	210
9.3.3	微程序控制器的工作原理	211
9.3.4	微指令的格式	213
9.3.5	微指令的编码方式	214
9.3.6	微指令序列地址的形成	215
9.3.7	微程序控制器举例	217
	本章小结	223
	习题	223
<b>第 10 章</b>	<b>并行计算机系统结构</b>	<b>225</b>
10.1	计算机系统结构中的并行性概念	225
10.1.1	概述	225
10.1.2	并行计算机体系结构的分类	225
10.2	流水线技术	228
10.2.1	流水线原理	228
10.2.2	流水线的性能指标	229
10.2.3	流水线的相关问题	231
10.2.4	动态调度	232
10.3	片内并行	237
10.3.1	超流水线技术	237
10.3.2	超标量技术	237
10.3.3	超长指令字技术	238
10.4	共享内存的多处理机	239
10.4.1	UMA 对称多处理器系统	240
10.4.2	NUMA 多处理器系统	243
10.5	消息传递的多处理机	244
10.5.1	互连网络	245
10.5.2	大规模并行处理器	247
10.5.3	集群计算	248
10.5.4	多计算机的通信软件	251
	本章小结	253
	习题	254
<b>附录</b>		<b>255</b>
附录 A	使用硬布线方法设计 CPU	255
附录 B	常用逻辑符号对照表	261
<b>参考文献</b>		<b>262</b>

# 第 1 章 计算机系统概述

## 1.1 计算机发展简史

电子计算机的诞生和发展是 20 世纪最伟大的科技成果之一,在这以前,人们设计出了一些其他类型的计算工具。早在 13 世纪,我国就发明了算盘,如图 1-1 所示,这是世界公认的最早的计算工具。促进计算工具研究发展的最初动力是编制初等函数表(如正弦、余弦、对数等)。法国科学家帕斯卡(Blaise Pascal, 1623~1662)于 1642 年制造出第一台能工作的机械计算机,程序设计语言 Pascal 就是为纪念帕斯卡而以他的名字命名的。帕斯卡的父亲从事税务工作,他为了帮助父亲完成大量的计算统计事务而设计出了帕斯卡机。帕斯卡机的外形是一个不大的黄铜盒子,采用齿轮啮合结构,用手工操作,可进行加法和减法运算。帕斯卡计算机在当时具有重大的意义,它开辟了自动计算的道路。30 年后,伟大的德国数学家莱布尼兹(G. Leibniz)制造了一台还能做乘法和除法的机械计算机。在此后的 150 年里计算机没有大的发展,直到剑桥大学的数学教授查尔斯·巴贝奇(Charles Babbage, 1792~1871)设计和制造了差分机,如图 1-2 所示。差分机只能运行差分运算,所谓“差分”,是把函数表的复杂算式转化为差分运算,用简单的加减法代替平方运算。虽然差分机运行得比较好,但是巴贝奇对这种只能运行一种算法的机器“厌烦”了,所以他开始制造差分机的替代品——分析机。在他的设计中,分析机已经具有现代计算机的雏形了。分析机由 5 个部分组成:存储部分,计算部分,控制器部分,输入部分和输出部分。但是因为当时的技术还不能提供他所需要的高精度齿轮,所以他最终也未能制造完成一台计算机。但由于他对计算机结构的贡献,人们尊称他为“现代数字计算机之父”。1991 年,为了纪念巴贝奇诞辰 200 周年,英国肯圣顿(Kensington)科学博物馆根据他的设计图纸重新制造了一台差分机。复制过程中,复制者特地采用 18 世纪中期的技术设备来制作,不仅成功地造出了机器,而且可以正常运转。

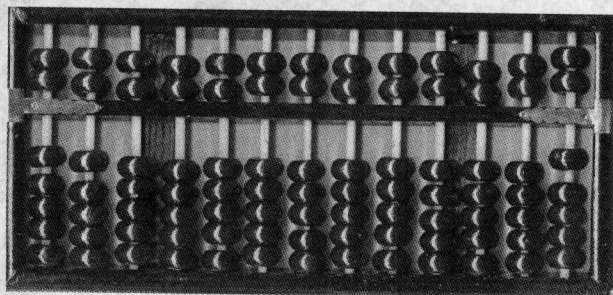


图 1-1 最早的计算工具——算盘

20 世纪 40 年代,无线电技术和无线电工业的发展为电子计算机的研制提供了物质基础。1943~1946 年美国宾夕法尼亚大学研制的电子数字积分与计算机(ENIAC)是世界上第一台电子计算机。ENIAC 于 1945 年年底完成,1946 年 2 月正式交付使用。60 年来,电子计算机



技术得到了飞速的发展,根据电子计算机所采用的物理器件和计算模式,我们把电子计算机的发展分为5个阶段,相邻两个阶段之间存在时间重叠。

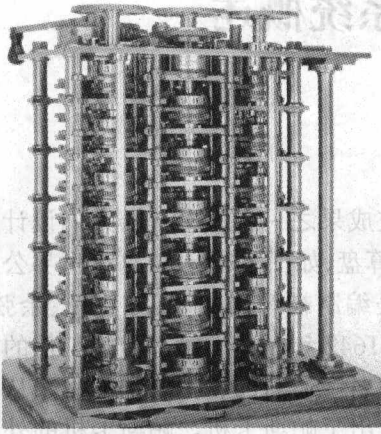


图 1-2 巴贝奇的差分机

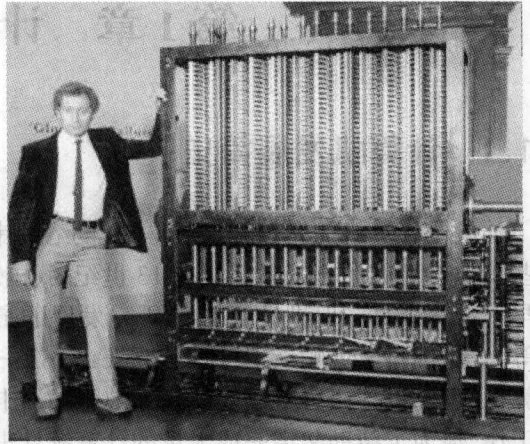


图 1-3 根据巴贝奇图纸制造的分析机

### 1.1.1 第一代计算机——电子管电子计算机

电子管计算机时代的主要特点是采用电子管作为基本器件。在这一时期,主要为军事与国防尖端技术的需要而研制计算机,并进行有关的研究工作,它为计算机技术的发展奠定了基础,其研究成果扩展到民用,又转为工业产品,形成了计算机产业。第一代计算机 ENIAC(如图 1-4)由 18000 个电子管和 1500 个继电器组成,重 30 t,耗电 140 kW,占地 170 m<sup>2</sup>,每秒钟能计算 5000 次加法。在体系结构上,它有 20 个寄存器,每个寄存器能存放一个 10 位的十进制数。ENIAC 通过设置分布在各处的 6000 个开关并连接大量的插头和插座来进行编程,所以编程的准备时间大大超过实际的计算时间。

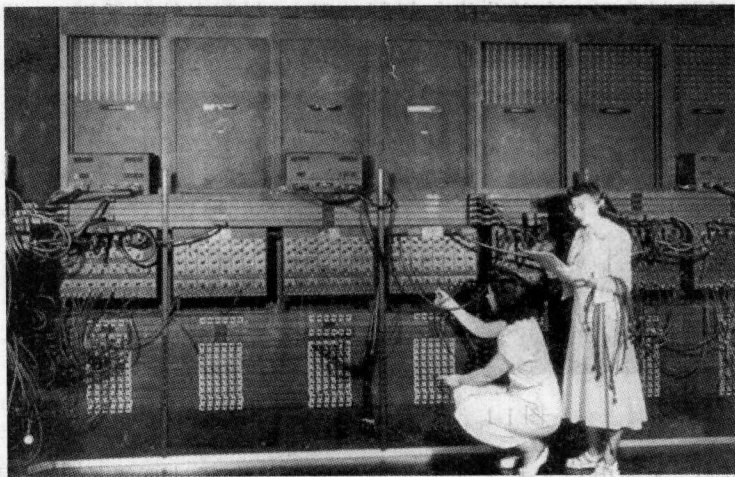


图 1-4 第一台电子计算机 ENIAC

如同与 ENIAC 计算机研制的同时,冯·诺依曼与莫尔小组合作研制 EDVAC (Electronic Discrete Variable Automatic Computer, 电子离散变量自动计算机), 采用了存储程序方案。到目前为止, 所有的计算机都采用这种方案, 称为冯·诺依曼计算机。冯·诺依曼机由 5 个部分组成: 即存储器, 运算器(算术逻辑单元 ALU), 控制器以及输入设备和输出设备。存储器有 4096 个字, 每个字 40 位, 每位均为 0 或 1。每个字表示两条 20 位的指令或一个 40 位的有符号整数。指令中的 8 位用来区分指令类型, 另外 12 位表示 4096 个存储单元中的一个地址。算术逻辑单元和控制单元一起, 组成计算机的“大脑”, 构成中央处理器(Central Processing Unit, CPU)。

在算术逻辑部件中有一个特殊的 40 位的内部寄存器——累加器。典型的指令能将内存中的一个字和累加器相加或将累加器的内容存入内存中。该机不提供浮点运算, 因为冯·诺依曼认为任何有能力的数学家都能在头脑中记住小数点的位数。

20 世纪 50 年代中期, IBM 公司在计算机行业中崛起。1954 年 12 月推出的 IBM 650(小型机)是第一代计算机中行銷最广的机器, 销售量超过 1000 台。1958 年问世的 IBM 709(大型机)是 IBM 公司性能最高的最后一台电子管计算机产品。

### 1.1.2 第二代计算机——晶体管电子计算机

1948 年, 贝尔实验室的 John Bardeen, Walter Brattain 和 William Shockley 发明了晶体管, 他们也因此获得了 1956 年的诺贝尔物理学奖。这时候计算机的主要器件逐步由电子管改为晶体管, 因而缩小了体积, 降低了功耗, 提高了速度和可靠性, 而且价格也不断下降。后来又采用了磁心存储器, 使速度得到进一步提高。不仅使计算机在军事与尖端技术上的应用范围进一步扩大, 而且在气象、工程设计、数据处理以及其他科学研究等领域内也应用起来。IBM 公司对晶体管的反应是研制 709 的晶体管版本 7090 和后来的 7094。7094 的机器周期为  $2\mu\text{s}$ , 有字长为 36 bit 的共 4KB 的核心内存。7094(如图 1-5)主要是面向科学计算, IBM 也针对商业应用推出了 1401(如图 1-6)。

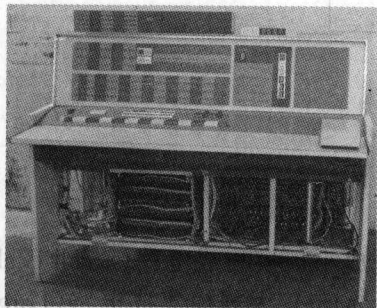


图 1-5 IBM 7094

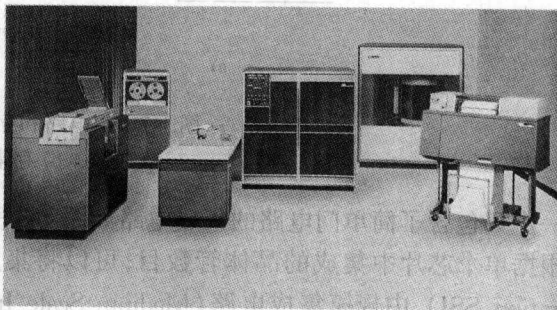


图 1-6 IBM 1401

1961 年, DEC 公司推出了 PDP-1(程序数据处理机), 配有 4KB 内存, 字长 18 bit, 每秒钟能执行 200000 条指令, 性能是 IBM 7090 的一半, 而价格是 7090 的几十分之一。PDP-1 的多项革新之一是它的视频显示和在  $512 \times 512$  屏幕上可定位任何一点的能力。不久 M.I.T. 的一些学生在 PDP-1 上开发了第一个视频游戏——太空战争游戏。

1964 年, 控制数据公司(CDC)推出了高速大型计算机系统 CDC 6600, 它比巨型机 7094 还快了将近一个数量级。它的推出取得了巨大成功, 深受美国和西欧各原子能、航空、宇航、气

象研究机构和大学的欢迎,使该公司在研制和生产高速大型计算机方面处于领先地位。同时 6600 还有几个小的计算机在帮助它,6600 可以全时处理数据,而把作业管理和输入/输出等细节问题交给小计算机去完成。1969 年 1 月,水平更高的超大型机 CDC 7600 研制成功,平均速度达到每秒千万次浮点运算,成为 20 世纪 60 年代末、70 年代初性能最高的计算机。

### 1.1.3 第三代计算机——集成电路计算机

Robert Noyce 于 1958 年发明的硅集成电路使得在单个芯片上可集成几十个晶体管。对晶体管的这种封装,使研制比晶体管计算机更小、更快、更便宜的计算机成为可能。

集成电路是采用专门的设计技术和特殊的集成工艺,把构成半导体电路的晶体管、二极管、电阻和电容等基本元器件,制作在一块半导体单晶片(例如硅或砷化镓)或绝缘基片上,能完成特定功能或者系统功能的电路集合。集成电路中包含了大量的门电路、存储单元以及这些部件之间的互联。门电路实现从输入信号到输出信号的各种逻辑运算,例如与、或和非等逻辑操作。存储单元可以存储 1bit 信息,它有两种稳定状态。施加读信号,该存储单元的状态可以由外部电路感知,然后转化为 0 或 1;施加写信号,可以按照要求由外部电路设置该存储单元的状态。通过门电路和存储单元的各种组合,我们可以进行下列几种基本操作。

- 1) 数据存取:对存储单元进行读写。
- 2) 数据处理:通过门电路对信息进行各种处理。
- 3) 数据移动:信息从存储器到存储器或者从存储器通过门电路处理之后存到存储器。
- 4) 控制:进行控制信号的传送,控制信号主要有控制布尔逻辑函数的激活信号和对存储单元进行存取的读写信号,如图 1-7 所示。

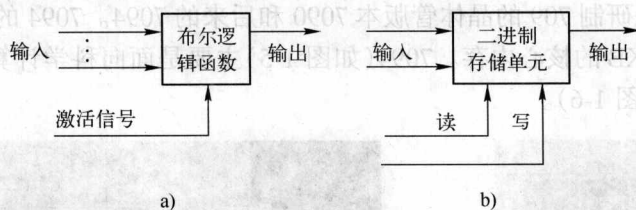


图 1-7 门电路和存储单元  
a) 门电路 b) 存储单元

一个只包含了简单门电路的集成电路如图 1-8 所示。

根据单个芯片中集成的晶体管数目,可以将集成电路分成小规模集成电路(Small Scale Integration, SSI),中规模集成电路(Medium Scale Integration, MSI),大规模集成电路(Large Scale Integration, LSI)和超大规模集成电路(Very Large Scale Integration, VLSI),见表 1-1。我们把超大规模集成电路构成的计算机作为第四代计算机进行介绍,而其他集成电路构成的计算机作为第三代计算机进行介绍。事实上,对于第三代以上的代的划分没有统一的标准。

1965 年,Intel 公司的创始人之一 Gordon Moore 发现一个规律:单个芯片中的晶体管数目每年能够翻一番,这就是摩尔定律。摩尔定律在 1970 年开始有所放缓,单个芯片的晶体管数目每隔 18 个月翻一番。摩尔定律后来转述为在一定成本下,微处理器的工作速度大体上也是每 18 个月翻一番。专家预言,芯片性能呈指数增长的趋势将会在今后几年放缓,一般看法是摩尔定律能再适用 10 年左右。



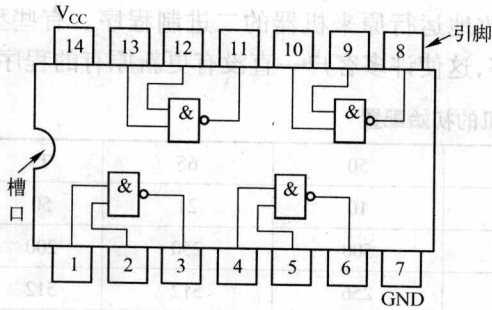


图 1-8 简单的集成电路示意图

表 1-1 集成电路的分类

类别	门的个数
SSI	<100 个门
MSI	100~1000 个门
LSI	1000~10 000 个门
VLSI	>10 000 个门

因此,摩尔定律的影响是深远的,具体表现在以下几方面。

- 1) 在芯片集成度快速增长期间,单个芯片的成本几乎没有变化,这意味着计算机逻辑电路和存储器电路的成本显著下降。
- 2) 因为在集成度更高的芯片中逻辑和存储器单元的位置更靠近,电路长度更短,所以提高了工作速度。
- 3) 计算机变得更小,更容易放置在各种环境中。
- 4) 减少了电能消耗及对冷却的要求。
- 5) 集成电路内部的连接比芯片间的连接更可靠,由于芯片中的电路增加,芯片间的连接变得更少。

IBM公司的晶体管计算机7094和1401面向不同的应用,而且两者是无法兼容的,拥有这两种计算机的用户必须同时拥有两支编程队伍。IBM公司针对这种情形提出了变革方法,它基于集成电路推出了新的产品,即System/360,来同时满足科学计算和商务处理两方面的内容。System/360包含了多项重要的革新,最重要的是,它是由五六种具有相同的汇编语言,但规模和处理能力递增的系列机组成的。客户可以用360机的30型机替代老的1401,而用75型机来替代7094。75型机体积比较大但速度快,但为其中一台编写的软件原则上可以在另一台上运行。因此系列机的概念很快就流行起来,几年之内,大多数计算机公司都推出了价格和性能各异的系列机。

一般来说,系列机具有以下特性。

- 1) 相同或相似的指令集:多数情况下,系列机中的所有成员都有完全相同的指令集。这样,能够在一台机器上执行的指令同样也能在另一台机器上执行。某些情况下,系列机中低端产品的指令集是高端产品的一个子集,这意味着程序可以向上而不能向下移植。
- 2) 相似或相同的操作系统:产品家族中的所有成员都有相同的基本操作系统。有些情况下,高端成员会增添一些新特性。
- 3) 更高的速度:成员机器从低端到高端,指令执行速度从低到高。
- 4) 更多的I/O端口数:成员机器从低端到高端,I/O端口数越来越多。
- 5) 更大的内存容量:成员机器从低端到高端,内存容量越来越大。
- 6) 成本增加:成员机器从低端到高端,成本越来越高。

表 1-2 中列出了 IBM 360 系列机几种机型的初始配置。

360 还是第一台可以仿真其他计算机的机器。较小的型号可以仿真 1401,较大的可以仿



真 7094。所以,换了 360 机后,客户还可以不加修改地运行原来机器的二进制程序。有些型号运行 1401 的程序比原来用 1401 机运行快了很多,这使许多客户一直没有更新原有的程序。

表 1-2 IBM 360 系列机的初始配置

型 号	30	40	50	65	75
相对性能	1	3.5	10	21	50
机器周期/ns	1000	625	500	250	200
最大内存/KB	64	256	256	512	512
存储器的数据传输率/(Mbit/s)	0.5	0.8	2.0	8.0	16.0
数据通道的最大数目	3	3	4	6	6
单通道最大数据传输率/(Kbit/s)	250	400	800	1250	1250

1965 年,DEC 推出了 12 位字长的 PDP-8 计算机,比 PDP-1 便宜了许多。PDP-8 的主要革新是使用了单条 Omnibus 总线,如图 1-9 所示。总线是用来连接计算机部件的平行导线。后来 DEC 公司推出了 16 位的 PDP-11 系列接替 8 位的 PDP-8 系列,小型机也向前迈进了一大步。

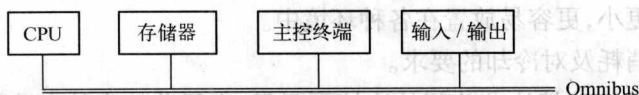


图 1-9 Omnibus 总线结构

### 1.1.4 第四代计算机——超大规模集成电路计算机

到 20 世纪 80 年代,超大规模集成电路的出现,使得在一个芯片上集成几万、几十万甚至上百万个晶体管成为可能。超大规模集成电路的发展使计算机更加小型化,速度更快,同时也导致成本更低。在 PDP-1 出现之前,计算机是如此庞大和昂贵,以至学校和公司不得不成立专门的部门来运行和维护它们。而到 1980 年,计算机的价格降低到个人也能承受的地步,个人计算机(PC)时代开始了。

计算机行业的巨人 IBM 在 1981 年推出了 IBM PC,成为历史上最畅销的计算机。因为 IBM PC 的设计方案完全公开,而且生产部件又很容易在市场上买到,所以其他计算机公司开始生产 IBM PC 的兼容机,费用比 IBM PC 更便宜。

到 20 世纪 80 年代末期,新的 RISC 体系结构开始流行,取代了复杂的 CISC 体系结构,使计算机趋于简单。90 年代,超标量 CPU 出现,可同时执行多条指令,而且常常不是按指令在程序中的顺序执行。

一直到 1992 年,个人计算机还都是 8 位,16 位和 32 位的。此时,DEC 革命性地推出了 64 位的 Alpha,这是真正的 64 位 RISC 计算机,在性能上超过了其他个人计算机很多。而到现在,64 位计算机才开始逐步成为市场的主流。

### 1.1.5 第五代计算机——普适计算机

虽然信息空间在不断发展扩大,但信息空间的入口仍然有限,人们只能通过有限的手段(即桌面计算设备)来获取和处理信息。两者之间的不对称发展严重限制了人们获取信息和处