

计算机组成基础

第2版

孙德文 章鸣嫒 编著

Foundations of Computer Organization
Second Edition



机械工业出版社
China Machine Press

计算机组成基础

第2版

孙德文 章鸣嫒 编著

Foundations of Computer Organization
Second Edition



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机组成基础 / 孙德文, 章鸣媛编著. —2 版. —北京: 机械工业出版社, 2016.5
(面向 CS2013 计算机专业规划教材)

ISBN 978-7-111-53347-4

I. 计… II. ①孙… ②章… III. 计算机组成原理—高等学校—教材 IV. TP301

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 062983 号

本书系统地介绍了计算机的基本组成原理和内部工作机制, 内容主要包括: 计算机系统概论、运算基础、数值的机器运算、存储系统和结构、指令系统、中央处理器、I/O 接口、外围设备、总线 and 计算机硬件系统举例——PC 主板和 CPU。书中各章都给出一些例题帮助读者进一步理解和掌握基本概念及各部件的工作原理, 而且每章后都附有适量的习题。

本书内容全面、概念清楚、语言通俗易懂, 并且具有实用性和先进性, 适合高等院校本科生和高职高专、远程教育的学生使用, 也可供计算机科技人员使用。

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 迟振春

责任校对: 殷虹

印刷: 北京市荣盛彩色印刷有限公司

版次: 2016 年 5 月第 2 版第 1 次印刷

开本: 185mm×260mm 1/16

印张: 17.5

书号: ISBN 978-7-111-53347-4

定价: 39.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzsj@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光/邹晓东

第2版前言

《计算机组成基础》第1版自2009年1月出版至今已逾5年,在机械工业出版社的支持和组织下,编者花了半年左右时间对第1版进行仔细的修订,主要是更新部分内容,并校订全书,使论述更清晰。

在这七年中,计算机技术不断发展——新的处理器芯片和控制芯片层出不穷,计算机的应用遍地开花,应用技术更有了长足的进步。这些变化对计算机教学提出了新的要求,特别是要求加强与应用实践的联系,对于工程型和应用型的专业更是如此,如何在计算机组成基础课程中反映这一需求就成为本次修订考虑的重点。为此,作者在论述了计算机系统中存储系统、中央处理器、I/O接口与外围设备以及总线的组成结构的基础上,新加了一章“计算机硬件系统举例——PC主板和CPU”。该章首先以流行的PC(个人计算机)为例,介绍计算机的硬件组成;其次,32位微处理器技术在计算机的发展历程中占有重要地位,64位微处理器和多核处理器是进入21世纪后处理器硬件技术更新的两个重点,该章简要介绍了这三类微处理器的硬件特点。希望通过这一章的学习,读者将计算机组成的理论同计算机硬件的应用实践初步联系起来。

第1版教材出版时,在华章网站(www.hzbook.com)上提供了电子教案以及全部习题解答作为教材的配套教学资源,供任课教师下载使用,第2版进一步加强了这些教学资源建设。

第1版问世七年,其间收到不少使用本教材的师生和其他读者的来信,对本教材的取材和写法给予肯定和鼓励,并提出不少宝贵意见和建议,对此,编者表示衷心的感谢,同时希望得到更多的批评和意见。

孙德文 章鸣媛

2015年11月于上海交通大学



第1版前言

2005年计算机科学与技术专业教学指导分委员会经过大量的调研,反复讨论、论证提出《高等学校计算机科学与技术专业发展战略研究报告暨专业规范(试行)》(以下简称《专业规范》),《专业规范》中根据计算机专业教育的现状,以及社会对人才的需求,提出了在“计算机科学与技术”专业名称之下,构建“计算机科学(CS)”、“计算机工程(CE)”、“软件工程(SE)”和“信息技术(IT)”四大专业方向,详细阐述了在这4个专业方向的教学必须掌握的知识点,同时对不同专业方向各推出了十余门核心课程,并对每门核心课程列出了教学大纲以及应涵盖的知识点。

2006年教育部通过了计算机科学与技术专业教学指导分委员会完成的《专业规范》的项目评审。这样,该《专业规范》在今后一段时间内将成为我国高等院校计算机科学与技术专业办学的一个指导性的专业规范。

本书全面涵盖课程要求的知识点,并根据我国高等教育进入大众化以及计算机科学与技术发展迅速的现实特点,在内容组织和编写过程中尽可能做到深入浅出、联系实际,在保证基本内容的前提下,有选择地介绍学科的新发展和新技术。

为便于教学,本教材还备有下列配套资料:

主教材的电子教案、教材中全部习题解、5~8套模拟试卷(附解)、教师教学用书以及若干个实验提纲。对于上述配套资料,使用本教材的教师可同机械工业出版社联系获取。

本教材在编写过程中得到上海交通大学软件学院傅育熙院长和蒋建伟副院长的大力支持,在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免有疏漏和不妥之处,敬请读者批评指正。

孙德文

2008年7月于上海交通大学

教学建议

建议课堂教学学时数为 54 或 72。

第 1 章 计算机系统概论(2 学时)

本章论述有关计算机系统的几个基本知识和基本概念,包括计算机系统发展简史、电子计算机硬件的主要组成部分、电子计算机系统的主要技术指标、软件概述、计算机系统层次结构和计算机的应用等 6 节。需要重点讲解的是计算机硬件的主要组成部分和计算机系统层次结构这两部分的内容。

第 2 章 运算基础——数值的机器级表示(6~8 学时)

本章论述电子数字计算机的运算基础,包括 6 节:数制、机器数与真值——带符号数与不带符号数的表示、定点表示法与浮点表示法、二进制信息编码、汉字编码和校验码。这是本教材的主要内容之一,在教学中必须使学生理解数值在计算机中的表示方式,因此在本章中需要重点讲解的是数制、机器数与真值——带符号数与不带符号数的表示和校验码。其中数制一节是基础,机器数的表示是重点,而采用校验码则是提高信息传输可靠性的重要措施。

(对应用型专业,2.6 节中的循环冗余校验码可不进行详细讲解,只介绍其基本概念即可。)

第 3 章 数值的机器运算(9~12 学时)

数值的机器运算是运算器的主要功能,本章共分 5 节,即定点数的加、减法运算和加、减法电路的实现,定点数的乘、除法运算和乘、除法电路的实现,逻辑运算,定点运算器的基本结构与工作原理,浮点数运算和浮点数运算器的实现。本章的重点是定点数的加、减法和乘、除法运算与实现以及浮点数运算和浮点数运算器的实现,而难点是定点数的乘、除法运算与实现。在硬件电路方面要掌握:①从半加器到算术逻辑部件 ALU;②行波进位的补码加法/减法器;③BCD 码(十进制)加法器;④先行进位的并行加法器;⑤定点运算器的基本结构;⑥浮点数运算器的基本结构。

(对应用型专业,3.2 节中定点数的乘、除法运算与实现可作为选学内容,视专业方向而定。)

第 4 章 存储系统和结构(8~14 学时)

程序存储和程序控制是电子数字计算机的基本工作方式,存储系统是电子数字计算机系统的不可或缺的主要组成部分。本章的主要内容包括:存储系统的组成、主存的组织与操作、存储系统的层次结构、高速缓冲存储器和虚拟存储器。在教学过程中应该使学生掌握:①存储器的分类;②半导体存储器的基本结构和主要技术指标;③两种 RAM 芯片的功能和特性以及芯片的互联技术;④存储系统的层次结构的概念;⑤Cache 的工作原理以及主存与 Cache 之间的三种地址映像;⑥虚拟存储器的基本概念和三种存储管理方式。芯片的互联技术是必须掌握的基本技术,⑤与⑥既是重点又是难点,建议通过例题进行讲解。

第 5 章 指令系统(6~8 学时)

指令是指示 CPU 执行某种规定操作的命令,计算机所具有的全部指令的集合称为指令系统。CPU 只能识别二进制代码,所以送入 CPU 的是一组二进制代码组成的指令,称为机器指

令。指令系统与硬件电路的工作密切相关。本章主要论述指令和指令系统、两类指令系统——80X86 系列指令系统和 MIPS 指令系统、两种典型的 CPU 结构以及指令流程——指令执行过程。本章要求重点讲解指令的寻址方式和机器指令的组成及解释、两种典型的 CPU 结构的组成及特点，还要求正确分析基本指令的指令流程。

第 6 章 中央处理器(9~12 学时)

中央处理器(CPU)是电子数字计算机的心脏,是由运算器和控制器组成的处理部件。本章的主要内容是中央处理器的功能与组成、硬连线控制器、微程序控制器、中断与异常处理以及中央处理器中流水线技术的基本概念。核心问题是要讲清控制器的功能是产生 CPU 正确执行各条指令时所需要的各种控制信号。在教学过程中应该使学生掌握:①CPU 中运算器和控制器的配合;②两种控制器——硬连线控制器、微程序控制器的组成与特点;③中断与异常处理的作用与实现;④流水线技术的基本概念。其中硬连线控制器与微程序控制器的组成既是重点又是难点,建议通过例题进行讲解。而对于流水线技术的基本概念,可视具体情况决定是否讲解。

第 7 章 I/O 接口与外围设备(6 学时)

“输入/输出”是计算机通过外围设备同外部世界通信或交换数据的操作,是人们使用计算机解决实际问题时必不可少的过程。而“输入/输出系统”是计算机系统中实现输入/输出操作的部件,由外围设备和 I/O 接口组成。本章主要论述:①各种常用外围设备的工作原理及特点;②外围设备与主机的定时方式和信息交换方式;③有关图形用户界面的基本概念。教材中常用外围设备的工作原理及特点的内容较多,任课教师可视专业具体情况确定讲解内容,并建议结合实物及图片(制作在 PPT 上)开展教学工作。外围设备与主机的定时方式和信息交换方式是重点,必须讲解清楚。

第 8 章 总线(4~6 学时)

总线是计算机系统中实现各模块之间数据通信的公共通路,是处理器与外部硬件接口(包括内存储器接口和外设接口)的主要部件之一,也是系统的一项重要资源,总线性能的优劣成为计算机系统中影响系统数据传送速度的重要因素。本章主要内容有三部分:①总线概述——总线、总线标准和总线的分类;②总线通信协议、总线仲裁和总线负载能力;③实用总线标准。其中,①和②是重点。实用总线标准中,主要掌握 PCI 总线,任课教师可视专业具体情况确定其他讲解内容。

第 9 章 计算机硬件系统举例——PC 主板和 CPU(4 学时)

本章主要论述两方面内容:以流行的 PC(个人计算机)为例,介绍计算机的硬件组成;简要介绍 32 位微处理器、64 位微处理器和多核处理器这三类微处理器的硬件特点。

习题与习题课

本教材各章都附有较多的习题,任课教师可视专业具体情况和教学情况给学生留一些基本和中等难度的习题作为课外作业。最好能安排 1~2 次习题课,在习题课上可以由教师讲解前一阶段课外作业中存在的普遍性问题,也可以安排一些有较大难度的习题让学生在课堂上做出解答,然后在教师指导下进行讨论。也可在发作业时,花一定时间对共性问题进行讲评。

如有条件,可安排一定学时的实验。配套资料中有若干实验例题供参考,可下载。

目 录

第2版前言

第1版前言

教学建议

第1章 计算机系统概论	1
1.1 计算机系统发展简史	1
1.1.1 计算机	1
1.1.2 电子计算机	4
1.2 电子计算机硬件的主要组成 部分	9
1.2.1 运算器	9
1.2.2 控制器	10
1.2.3 存储器	10
1.2.4 输入设备	10
1.2.5 输出设备	10
1.3 电子计算机系统的主要技术 指标	11
1.3.1 字长	11
1.3.2 运算速度	11
1.3.3 存储容量	11
1.3.4 主频	12
1.4 软件概述	12
1.4.1 软件及其分类	12
1.4.2 对“软件”的完整理解	13
1.4.3 语言处理程序	14
1.5 计算机系统层次结构	16
1.6 计算机的应用	18
1.6.1 数值计算	18
1.6.2 数据处理	18
1.6.3 计算机控制	18
1.6.4 计算机辅助设计/计算机 辅助制造	19
1.6.5 人工智能	19
习题1	19

第2章 运算基础——数值的机器级

表示	20
2.1 数制	20
2.1.1 十进制数制	20
2.1.2 二进制数制	21
2.1.3 二进制数与十进制数 之间的转换	22
2.1.4 十六进制数制	23
2.2 机器数与真值——带符号数与 不带符号数的表示	25
2.2.1 机器数与真值	25
2.2.2 带符号数的表示法	25
2.3 定点表示法与浮点表示法	28
2.3.1 定点表示法	28
2.3.2 浮点表示法	28
2.4 二进制信息编码	29
2.4.1 BCD码(二-十进制码)	29
2.4.2 ASCII码	30
2.5 汉字编码	31
2.5.1 汉字的输入编码	32
2.5.2 国标码与汉字机内码	32
2.5.3 汉字字模码	32
2.6 校验码	32
2.6.1 几个基本概念	32
2.6.2 奇偶校验码	33
* 2.6.3 循环冗余校验码	36
习题2	39
第3章 数值的机器运算	40
3.1 定点数的加、减法运算和加、 减法电路的实现	40
3.1.1 定点数的加减运算	40
3.1.2 从半加器到算术逻辑 部件 ALU	43

* 3.2 定点数的乘、除法运算和乘、 除法电路的实现	51	4.4.2 主存与 Cache 之间的 地址映像	89
3.2.1 定点数的乘法运算和 乘法电路的实现	51	4.4.3 直接映像	90
3.2.2 定点数的除法运算和 除法电路的实现	58	4.4.4 全相联映像	94
3.3 逻辑运算	63	4.4.5 组相联映像	97
3.3.1 “与”、“或”和“非” 运算	63	4.4.6 替换策略和更新策略	99
3.3.2 “异或”运算	64	4.5 虚拟存储器	101
3.4 定点运算器的基本结构与 工作原理	65	4.5.1 虚拟存储器的基本 概念	101
3.4.1 移位电路	66	4.5.2 页式虚拟存储器	102
3.4.2 定点运算的主要组成	66	4.5.3 段式虚拟存储器	103
3.5 浮点数运算和浮点数运算器的 实现	67	4.5.4 段页式虚拟存储器	104
3.5.1 二进制数的浮点运算	67	4.5.5 快表技术	105
3.5.2 浮点运算器的基本 结构	71	习题 4	106
习题 3	73	第 5 章 指令系统	110
第 4 章 存储系统和结构	76	5.1 指令与指令系统	110
4.1 存储系统的组成	76	5.1.1 指令格式	110
4.1.1 存储器的分类	76	5.1.2 寻址方式	114
4.1.2 主存	76	5.2 两类指令系统	118
4.1.3 辅存	78	5.2.1 80X86 系列处理器的 指令系统	118
4.2 主存的组织与操作	78	5.2.2 MIPS 处理器的指令 系统	120
4.2.1 半导体存储器的基本 结构	78	5.3 指令流程	123
4.2.2 存储器中的数据组织	79	5.3.1 指令执行过程	123
4.2.3 半导体存储器的主要 技术指标	79	5.3.2 3 种周期	124
4.2.4 半导体存储器芯片的 发展	80	5.3.3 两种典型的 CPU 结构 类型	124
4.2.5 主存储器的组织	82	5.3.4 指令流程举例 1—— 单总线结构 CPU	128
4.2.6 多体交叉存储技术	86	5.3.5 指令流程举例 2—— 专用通路结构 CPU	130
4.3 存储系统的层次结构	87	习题 5	133
4.4 高速缓冲存储器	88	第 6 章 中央处理器	135
4.4.1 Cache 的工作原理	88	6.1 中央处理器的功能与组成	135
		6.1.1 中央处理器的组成	135
		6.1.2 中央处理器的功能	136
		6.1.3 控制器的组成	136

6.2 硬连线控制器	137	7.3.4 光盘存储器	182
6.2.1 硬连线控制器概述	137	7.3.5 U 盘存储器	187
6.2.2 硬连线控制器的结构	138	7.4 外围设备与主机的定时方式和	
6.2.3 硬连线控制器的设计		信息交换方式	188
步骤	140	7.4.1 程序控制传送方式	188
6.3 微程序控制器	140	7.4.2 DMA 传送方式	193
6.3.1 微程序控制器概述	140	7.4.3 通道传送方式	195
6.3.2 微程序控制器的基本		7.5 图形用户界面	197
结构	141	7.5.1 人机交互技术	197
6.3.3 微程序设计技术	142	7.5.2 图形用户界面概述	199
6.4 中断与异常处理	148	习题 7	204
6.4.1 中断与异常的定义	148	第 8 章 总线	206
6.4.2 中断处理过程	149	8.1 总线概述	206
6.4.3 中断优先级	151	8.1.1 总线和总线标准	206
6.4.4 中断的嵌套	154	8.1.2 总线的分类	207
6.5 中央处理器中流水线技术的		8.2 总线通信协议、总线仲裁和	
基本概念	154	总线负载能力	209
6.5.1 并行性的概念	154	8.2.1 总线传输周期	209
6.5.2 指令的 3 种解释方式	157	8.2.2 总线通信协议	209
6.5.3 流水线技术的特点	160	8.2.3 总线仲裁	211
6.5.4 流水线中的相关性	161	8.2.4 总线负载能力	213
6.5.5 流水线的性能指标	161	8.3 实用总线标准	214
6.5.6 流水线举例——		8.3.1 PCI 总线	214
MIPS R4000	163	8.3.2 RS-232C 总线	223
习题 6	164	8.3.3 IEEE-488 总线	226
第 7 章 I/O 接口与外围设备	165	8.3.4 IDE/ATA 总线	226
7.1 外围设备	165	8.3.5 SCSI 总线	229
7.2 常用输入设备和输出设备	165	8.3.6 USB 总线	231
7.2.1 键盘	166	8.3.7 IEEE 1394 总线	236
7.2.2 鼠标	167	习题 8	237
7.2.3 扫描仪	168	第 9 章 计算机硬件系统举例——	
7.2.4 触摸屏	168	PC 主板和 CPU	238
7.2.5 打印机	169	9.1 PC 主板	238
7.2.6 显示器	171	9.1.1 主板概述	239
7.3 外存储器	174	9.1.2 主板上的插座和插槽	240
7.3.1 磁盘存储器	174	9.1.3 主板的外设接口	242
7.3.2 磁带存储器	177	9.2 芯片组	243
7.3.3 RAID	178		

9.2.1 芯片组的功能·····	243	9.3.1 32 位微处理器 ·····	245
9.2.2 南北桥结构与 Hub 结构·····	244	9.3.2 64 位微处理器 ·····	255
9.3 从 32 位微处理器到多核 处理器 ·····	245	9.3.3 多核芯片·····	258
		习题 9 ·····	268
		参考文献 ·····	269



计算机系统概论

本章论述有关计算机系统的基本知识和基本概念,包括计算机系统发展简史、电子计算机硬件的主要组成部分、电子计算机系统的主要技术指标、软件概述、计算机系统层次结构和计算机的应用等内容。

1.1 计算机系统发展简史

1.1.1 计算机

1. 古代的计算工具

从原始的、广义的意义而言,计算机是指一种用于计算的工具。据史籍记载,我国最早出现的计算工具是“算筹”,采用十进制计数法可进行加、减、乘、除和开方运算,并用红、黑筹分别表示正、负数,还可表示各种代数式,进行代数运算。算筹产生于春秋战国之前(公元前 770 年前),使用了两千多年,南北朝(公元 420~589 年)时的数学家祖冲之(429—500)就是用算筹计算出圆周率 π 的 7 位有效值(3.141 592 6~3.141 592 7),而欧洲数学家求出与该值相近的圆周率值比祖冲之迟了一千多年,当然祖冲之求得这个结果花了 15 年的时间。可见运算速度慢是算筹的缺陷所在。在东汉(公元 25~220 年)时期的典籍中出现了替代“算筹”的新的计算工具——“算盘”,还创造了一整套珠算口诀,算盘的运算速度快捷,以后还传到日本、韩国等东亚各国以及欧洲,一直延续到现代。

2. 机械和机电式计算机

从 17 世纪开始,欧洲一些数学家设计制造出一些机械式或机电式的计算工具——数字运算机器。

1642 年,法国数学家帕斯卡(B. Pascal)设计并制作了一台能自动进位的加减法计算装置,被称为是世界上第一台数字计算器,为以后的计算机设计提供了基本原理。

1673 年,德国数学家莱布尼茨(G. W. Leibniz)制造出第一台机械式计算工具——莱布尼茨四则运算器,可进行十进制乘、除运算。

1777 年,英国逻辑数学家查里斯·马洪(Charles Mahon)发明了逻辑演示器(Logic Demons Trator),能解决传统的演绎推理、概率以及逻辑形式的数值问题。

1820 年,法国人查里斯·考勒马(C. Colmar)制成了商用机械计算器。

1822 年,英国剑桥大学的查尔斯·巴贝奇(C. Babbage)研制成可以运转的差分机模型,能通过加、减法计算各种多项式。

1944年,美国人霍华德·艾肯(H. Aiken)制成了自动程序控制计算机——马克1号。

3. 现代电子计算机

(1) 技术基础——电子元器件的发明、应用和电子技术的迅速发展

1883年,发明白炽灯的美国科学家爱迪生(T. A. Edison)在白炽灯泡中加入第二个电极,发现电极与灯丝之间有电流飞渡——这就是爱迪生效应。

1897年,物理学家汤姆逊(J. J. Thomson)用实验证实了真空管(电子管)中导电的粒子——电子是从阴极逸出的,发表了题为“小于氢原子质量的存在”的文章,汤姆逊因发现电子而获得诺贝尔(Nobel)物理学奖,后来,实验所用的仪器发展为阴极射线管——示波管和显像管。

1904年,英国科学家弗莱明(J. A. Fleming)发明了真空二极管。

1907年,美国发明家德福雷斯特(De Forest Lee)在二极管的灯丝和板极之间加了一个栅板,从而发明了第一只具有电信号放大作用的真空三极管。

1947年,美国物理学家肖克利(William Bradford Shockley)、巴丁(John Bardeen)和布拉顿(Walter Houser Brattain)三人合作发明了晶体管——一种三个支点的半导体固体元件。

(2) 理论基础——二进制计数制和布尔代数

1847年,英国数学家乔治·布尔(George Boole)发表了论文“思维规律研究”。布尔认为逻辑中各种命题能够使用数学符号来表示,这些符号能依据固定的规则推导出适当的结论。于是他设计了一套表示逻辑理论中基本概念的符号,建立了应用这些符号进行运算的法则,从而把形式逻辑归结为一种代数——建立了逻辑代数(布尔代数)。1854年,布尔出版了著名的《布尔代数》一书。布尔逻辑理论的基础是两种逻辑值——“真”与“假”,以及三种逻辑关系——“与”、“或”和“非”。这种简化了的“二值逻辑”为电子数字计算机的二进制计算、开关逻辑电路的设计提供了数学基础。

1938年,美国数学家克劳德·艾尔伍德·香农(Claude Elwood Shannon)在其硕士论文中提出,可以用二进制系统来表达布尔代数中的逻辑关系——用“1”表示“真”,用“0”表示“假”。这样任何一个机械性的推理过程都能当作普通计算一样处理。

二进制计算的引入对电子计算机的诞生具有极其重要的意义。采用二进制数码进行的计算只有“1”和“0”两个状态,任何一个物理状态都可以表示为“有”和“无”,如电信号——电压或电流的有无(高、低),磁信号——磁性的有无、磁滞回线的两个相反方向,而“有”可以表示二进制的“1”,“无”则可以表示二进制的“0”,当然,反之亦可。要实现两种状态的机电元器件也容易制造。若采用十进制数要用10个不同状态表示0~9十个数,而要找到同时具有10个不同稳定状态的机电元器件是极困难的。另外,二进制的计算规则极简单,加法仅4种运算—— $0+0$ 、 $0+1$ 、 $1+0$ 和 $1+1$,而十进制的计算规则就复杂得多。

与此同一时期,英国24岁青年数学家阿兰·麦席森·图灵(Alan Mathison Turing)在其题为“论可计算数及在密码中的应用”的论文中,严格地描述了计算机的逻辑结构,首次提出了计算机的通用模型——图灵机,这种计算机能够进行多种运算,并能运用计算结果证明一些重要的理论。图灵还从理论上证明这种抽象计算机的可能性,为近代电子数字计算机的发展奠定了理论基础。在第二次世界大战期间,图灵设计并研制了密码破译机(BOMBE)。这是一台以继电器为开关元件的高速计算装置,是世界上第一台专用数字电子计算机。1945年,图灵在一篇关于自动计算机器(Automatic Computing Engine, ACE)的报告中描述了有关计算机存储程序、微程序控制的设计概念以及计算机出错自检系统的设想,并提出计算机高级语言产生的预

言,使用电话线来控制远距离计算机的可能性以及机器自动编译的可能性。1950年,图灵发表了论文“计算机器与智能”,奠定了人工智能理论的基础。

1942年,艾奥瓦州立学院理论物理学家约翰·阿塔那索夫(John Atanasoft)在研究生克利福特·贝瑞(Clifford Berry)的帮助下用电子管作逻辑元件组装成了一台很小的电子计算机“ABC”。他们的工作因战争全面爆发而被迫停止。艾奥瓦州立学院未能申请到首台电子计算机专利,但电子计算机的发明权属于阿塔诺索夫,美国机械工程师协会授予阿塔诺索夫最高荣誉HOLLEY奖章。

(3) 社会基础——第二次世界大战对先进的、高速的计算工具的迫切需求

1939年9月,第二次世界大战爆发,1941年,太平洋战争爆发,美国对日宣战。军事上的迫切需要加速了电子计算机研制的步伐。

1941年,ENIAC的开发者约翰·莫奇莱(John Mauchly)和埃克特(J. Presper Eckert),巨型机之父克雷(S. R. Cray),小型机之父贝尔(C. Gordon Bell),个人计算机的先行者克拉克(W. A. Clark),转入宾夕法尼亚大学工作,参加宾夕法尼亚大学莫尔学院和美国陆军军械署的合作项目——“弹道表”的计算工作。

1943年4月9日,莫奇莱提出关于制造电子计算机用来计算“弹道表”的方案,1943年6月开始实施,有200余人参加,任总工程师的是莫奇莱的学生、24岁的埃克特(J. Eckert)。1945年年底第一台实用的通用电子数字计算机“埃尼阿克”(ENIAC, Electronic Numerical Integrator And Computer, 电子数字积分器和计算器)安装就绪,1946年2月15日在宾夕法尼亚大学正式投入运行(见图1-1)。ENIAC计算机制作成本高达1000万美元,共用18800个电子管,1500个继电器,重达30吨,占地170平方米,耗电150千瓦,运算速度为:每秒钟能进行5000次加法运算(或330次乘法运算或100次除法运算),用来进行弹道计算,几分钟就能完成一条弹道的计算。ENIAC计算机存在的主要缺点是:①存储容量太小,它没有真正的存储器,只用20个字节的寄存器用来存储数字;②采用十进制数;③用线路连接的方法来编排程序——每次改变计算方式都要变更电路连接,准备时间大大超过实际计算时间。

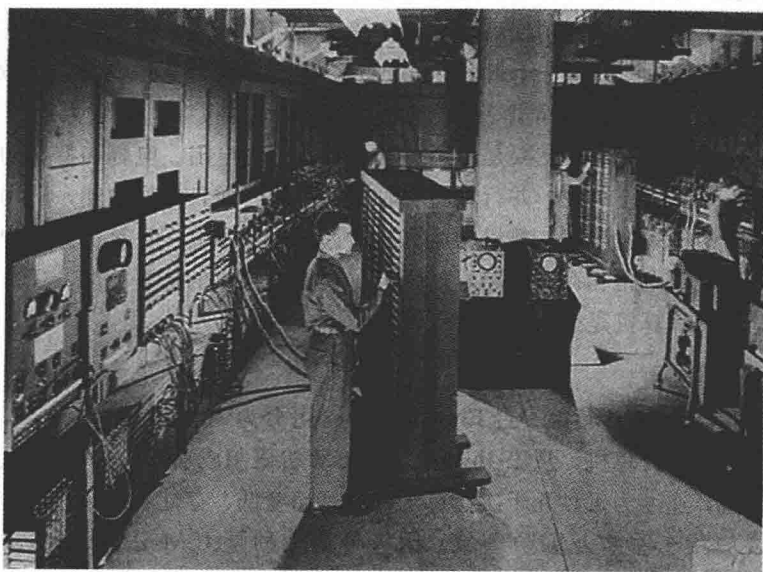


图 1-1 ENIAC

(4)现代电子计算机的奠基人——冯·诺依曼(John von Neuman)

冯·诺依曼生于匈牙利,苏黎世大学数学博士,1930年赴美,1933年与爱因斯坦(Albert Einstein)一起受聘为普林斯顿大学终身教授。1944年底~1945年初他参加ENIAC计算机研制小组,成为研制小组的顾问,经常举办讨论新型存储程序的通用计算机方案的学术讨论会,同研制组通力合作,研制成第一台实用的通用电子数字计算机,奠定了现代电子数字计算机的结构框架。

1946年6月,冯·诺依曼与高德斯坦(Goldstein)等发表论文“电子计算机装置逻辑结构初探”,成为新型电子数字计算机EDVAC(Electronic Discrete Variable Automatic Computer,离散变量电子计算机)的设计基础。EDVAC计算机的主要改进有:①采用二进制计数;②采用延时线作内部存储器,容量为1024字节;③提出了“存储程序”的概念,程序设计者按计算要求编制好程序,将程序和运行程序中所用的数据以二进制代码的形式存入计算机的存储器中,由计算机自动执行程序。这使电子计算机有了通用性,只要能写出正确的指令,计算机执行时就无须人工干预。按此方案构成的计算机称为“冯·诺依曼机”。

1.1.2 电子计算机

电子计算机(electronic computer)是一种能自动地、高速地进行大量运算的电子设备,它通过对输入的数据进行指定的数值运算和逻辑运算来求解各种算题,也能用来处理各种数据和事务,是一种自动化信息处理工具,当它与一定的机电设备或仪器设备相结合时,能实现对生产过程和实验过程的控制。

1. 电子数字计算机和电子模拟计算机

按进行运算的数据的表示方式和计算原理的不同,电子计算机可分为两大类:

1)电子数字计算机(electronic digital computer)。电子数字计算机的特点是数据由离散量来表示,是对离散变量进行处理和运算的解算装置。它采用二进制编码方式表示数值、字符、指令和其他控制信息。各种运算部件主要是由对应的逻辑电路(基本逻辑门电路及其组合部件)和存储电路组成。数字计算机具有精度高、数据存储量大和逻辑判断能力强等优点。

2)电子模拟计算机(electronic analog computer)。电子模拟计算机的特点是数据由连续量来表示,是对连续变量进行运算的解算装置。在电子模拟计算机中,变量为连续变化的直流电压、电流或电荷,各种运算部件主要是由运算放大器、精密电阻、电容和特殊的开关元器件组成。模拟计算机工作具有连续性、并行性和实时性的特点,而且操作简便,适用于连续系统的实时仿真。但受元器件精度限制,整机的运算精度远低于电子数字计算机。在现代的电子模拟计算机中引入各种逻辑电路和存储电路可增强电子模拟计算机的仿真功能。

本书讲述的电子计算机是指电子数字计算机。

2. 4代电子计算机

电子数字计算机从1946年第一台ENIAC机至今可分为4代:

第一代——电子管计算机:从1946年第一台计算机研制成功开始到50年代后期,以电子管为基本器件,运算速度为每秒几千次运算。特点是精度低、存储容量小、稳定性差以及体积庞大等。其主要应用于军事及国防领域。销售量最大的是IBM公司(International Business Machine Corp.,国际商用机器公司)的IBM 650小型机,性能最高的是最后一台电子管计算机——IBM 709大型机。

第二代——晶体管计算机：从 20 世纪 50 年代中期到 60 年代后期，以晶体管为基本器件，50 年代后期开始使用磁芯存储器，运算速度在每秒几万次运算以上，后期的晶体管计算机速度已达每秒千万次运算。其特点是精度较高、存储容量较大、稳定性较好以及体积较小等。应用领域已扩大到工程设计和科学研究。影响较大的是 CDC(Control Data Corp.，控制数据公司)的 CDC 6600 高速大型计算机。而性能最高的是 CDC 7600 超大型计算机，速度达到每秒千万次浮点运算。

第三代——集成电路计算机：从 20 世纪 60 年代中期到 70 年代前期，采用小规模或中规模集成电路为基本器件，后期开始使用半导体存储器，运算速度在每秒几十万次运算以上，后期的集成电路计算机速度已达每秒千万次运算，其特点是功耗、体积和价格等进一步下降，而速度及可靠性相应地提高，应用领域进一步扩大。成本低而功能相对不是太强的小型计算机占领了数据处理的许多应用领域。代表性系统有 IBM 360 系列、CDC 7600 系列和 DEC(Digital Equipment Corp.，数字设备公司)的 PDP-8 系列等。1964 年推出的 IBM 360 系统是最早采用集成电路的通用计算机，也是影响最大的第三代计算机。

第四代——大规模和超大规模集成电路计算机：从 20 世纪 70 年代中期开始，随着集成电路器件集成度的不断提高，电子计算机进入大规模集成电路计算机的时代。以 1971 年生产的 IBM 370 系列机为开端，运算速度可达每秒几千万次~上亿次。之后，随着集成电路器件集成度的成倍提高，超大规模集成电路(Very Large Scale Integration, VLSI)器件普遍应用于更加完善的高密度、高速度的处理器芯片和存储器芯片。现代的电子计算机都是超大规模集成电路计算机。其特点是精度更高、存储容量更大、稳定性更好以及体积更小(在实现相同功能的条件下)等。

3. 通用化、系列化和标准化

第三代和第四代计算机的主要特点是通用化、系列化和标准化。

通用化：指令系统丰富，兼顾科学计算、数据处理、实时控制三个方面。

系列化：同一系列的各档机器采用相同的系统结构，即在指令系统、数据格式、字符编码、中断系统、控制方式、输入/输出操作方式等方面保持统一，从而保证了程序的兼容，当用户更新机器时，原来在低档机上编写的程序可以不做修改就使用在高档机上。

标准化：采用标准的输入/输出接口，因而各个机型的外部设备是通用的。采用积木式结构设计，除了各个型号的 CPU 独立设计以外，存储器、外部设备都采用标准部件组装。

4. 电子数字计算机分类

进入大规模和超大规模集成电路计算机时代后，各种类型的计算机——巨型机、大型机、小型机、微型机和工程工作站等都得到飞速发展。

(1) 巨型机

巨型机是一种需要有很高的运算速度、很大存储容量的计算机，一般的大型通用计算机不能满足要求。集成电路的进展，为制造巨型机提供了条件。以 Cray-1 计算机为例，针对天气预报、飞行器设计和核物理研究中存在大量向量运算的特点，Cray-1 计算机的向量运算速度达每秒 8000 万次，并兼顾了一般的标量运算。1983 年研制成功的 Cray X-MP 机向量运算速度达每秒 4 亿次。巨型机对国防技术的发展是不可或缺的。

(2) 大型机

大型机具有高可靠性、高吞吐能力、高安全性、高可扩展能力以及防病毒和防黑客能力。

它用作一个安全的、开放的大型服务器，作为企业的计算平台。由于大型机软件开发成本很高，为了减少新研发机的软件开发成本，大型机一般具有系列化的特点，IBM公司于1998年推出的IBM S/390系列的第5代产品，其主机速度为每秒10亿次。

(3)小型机

小型机是一种规模小、结构简单、设计试制周期短的计算机系统，便于及时采用先进工艺，具有硬件和软件成本低、操作和维护容易以及可靠性高等特点，管理机器和编制程序都比较简单，便于计算机的普及和推广。使用小型机进行数据采集、整理、分析、计算等工作可使小型机的应用领域扩展到控制领域。

DEC公司的PDP 11系列是16位小型机的代表，DEC公司的VAX 11/780是32位高档小型机，应用极为广泛。VAX 11系列与PDP 11系列是兼容的。

(4)微型机

20世纪60年代末至70年代初，由于集成电路工艺和计算机技术的发展，袖珍计算器得到了普遍的应用。作为研制灵活的计算器芯片的成果，1971年10月，美国Intel公司首先推出Intel 4004微处理器。这是实现4位并行运算的单片处理器，构成运算器和控制器的所有元件都集成在一片大规模集成电路芯片上。它也是第一片微处理器。

微型机(Microcomputer，微型计算机)是指以微处理器为基础，配以内存存储器以及输入/输出(I/O)接口电路和相应的辅助电路而构成的计算机。

微型机的出现与发展，掀起了计算机普及的大浪潮。

利用4位微处理器Intel 4004组成的MCS-4是世界上第一台微型机，1978年问世的Intel 8086是16位微处理器，后继问世的Intel 80286、80386与8086兼容。1981年以后，32位微处理器Intel 80386、80486和Pentium系列的微处理器相继问世。

20世纪70年代后期，出现了一种通用微机系统——个人计算机(Personal Computer，PC)。最早的、在个人计算机发展史中有重大影响的是1977年Apple公司(苹果公司)推出的Apple II型微机，此后各种型号的个人计算机纷纷出现。1981年8月12日IBM公司推出了IBM PC，后来又推出IBM PC/XT(扩充型PC)、IBM PC/AT(先进型PC)。由于它们具有设计先进、软件丰富、功能齐全和价格低廉等特点，很快成为微型机市场主流。国内外许多计算机厂家相继生产了与IBM PC兼容的个人计算机。个人计算机是一类通用计算机，可应用于多个领域，低档的个人计算机可供家庭娱乐和业余爱好者使用，而高档的个人计算机用于经营管理、科学计算以及教育等方面。

(5)工程工作站

工程工作站EWS(Engineering Work Station)简称工作站，是一种微型化的功能强的计算机系统。它的速度快、内存大，而且图像处理能力强，适合于进行较复杂的科学和工程计算。它是由高性能主机(包括高性能处理器和大容量内存)、高分辨率显示器、高速I/O设备以及其他必要的仪器设备组合而成。它置于终端台上，并可通过网络连接起来。它本身可作为一台计算机使用，能完成工程业务、技术业务和管理业务，并能作为一个工作站加入网络中。

EWS特别适用于工程上的设计、计算、模拟、分析。它还适用于办公自动化(OA)业务、常规和非常规的数据处理、文件形成、机器检测、A/D和D/A转换、实验数据处理以及CAD/CAM/CAE(计算机辅助设计/计算机辅助制造/计算机辅助工程)等方面的应用，所以被称为“工程工作站”。