

PEARSON
Education

培生教育集团

HZ BOOKS
华章教育

面向计算机科学与技术专业规范系列教材



计算机组成基础

孙德文 编著



Fundamentals of Computer Organization



机械工业出版社
China Machine Press

TP303/183

2009

面向计算机科学与技术专业规范系列教材

计算机组成基础

孙德文 编著

Fundamentals of Computer Organization



机械工业出版社
China Machine Press

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、外围设备和总线。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。书中各章都列举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。

本书适合高等学校本科生和高职高专、远程教育的学生使用，也可供从事计算机专业的科技人员参考。

版权所有，侵权必究。

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成基础/孙德文编著. —北京：机械工业出版社，2009.1

(面向计算机科学与技术专业规范系列教材)

ISBN 978-7-111-25261-0

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第154462号

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：周茂辉

北京市慧美印刷有限公司印刷

2009年1月第1版第1次印刷

185mm×260mm·15.5印张

标准书号：ISBN 978-7-111-25261-0

定价：29.00元

凡购本书，如有倒页、脱页、缺页，由本社发行部调换
本社购书热线：(010)68326294

出版者的话

机械工业出版社华章公司是国内重要的教育出版公司，培生教育集团(拥有 Addison Wesley、Prentice Hall 等品牌)是全球知名的教育出版集团，双方在过去长达十余年的合作中秉承“全球采集内容，服务教育事业”的理念，遴选、移译了国外大量的在计算机科学界享誉盛名的专家名著与名校教材，其中包括 Donald E. Knuth、Alfred V. Aho、Jeffrey D. Ullman、John E. Hopcroft、Dennis Ritchie 等大师名家的经典作品(收录在大理石封面的“计算机科学丛书”中)，这些作品对国内计算机教育及科研事业的发展起到了积极的促进作用。

随着国内计算机科学与技术专业学科建设的不断完善、教学研究的蓬勃发展，以及教材改革的逐渐深化，计算机科学与技术专业的优秀课程及教材不仅仅是“引进来”(版权引进)，而且需要“走出去”(版权输出)了。

近几年以来，教育部计算机科学与技术专业教学指导分委员会根据我国计算机专业教育的现状以及社会对人才的需求，发布了《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《规范》)。为配合《规范》的实施推广，同时为落实中央“提高高等教育质量”的最新指导思想，在教育部计算机科学与技术专业教学指导分委员会的指导下，在国内知名高校众多教授的帮助下，我们出版了这套“面向计算机科学与技术专业规范系列教材”。

本套教材的作者在长达数十年的科研和教学经历中积累了大量的知识和经验，也奠定了他们在学术和教学领域的地位，教材的内容体现了他们的教学思想和教学理念，本套教材也是传承他们优秀教学成果的最好载体，是中国版的专家名著和名校教材，相信它们的出版对提高计算机科学与技术专业的教育水平和教学质量能够起到积极的作用。

华章与培生作为专业的出版团队，愿与高等院校的老师共同携手，在这套教材的出版上引进国际先进教材出版经验，在教学配套资源的建设上做出新的尝试，为促进中国计算机科学与技术专业教育事业的发展，为增进中国与世界文化的交流而努力。



序 言

近 20 年里, 计算机学科有了很大的发展, 人们普遍认为, “计算机科学”这个名字已经难以涵盖该学科的内容, 因此, 改称其为计算学科(Computing Discipline)。在我国本科教育中, 1996 年以前曾经有计算机软件专业和计算机及应用专业, 之后被合并为计算机科学与技术专业。2004 年以来, 教育部计算机科学与技术专业教学指导分委员会根据我国计算机专业教育和计算学科的现状, 为更好地满足社会对计算机专业人才的需求, 发布了《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《规范》), 提出在计算机科学与技术专业名称之下, 构建计算机科学、计算机工程、软件工程和信息技术四大专业方向。《规范》中四大专业方向的分类, 在于鼓励办学单位根据自己的情况设定不同的培养方案, 以培养更具针对性和特色的计算机专业人才。

为配合《规范》的实施, 落实中央“提高高等教育质量”的精神, 我们规划了“面向计算机科学与技术专业规范系列教材”。本系列教材面向全新的计算学科, 针对我国高等院校逐步向新的计算机科学与技术专业课程体系过渡的趋势编写, 在知识选择、内容组织和教学方法等方面满足《规范》的要求, 并与国际接轨。本套教材具有以下几个特点:

(1) **体现《规范》的基本思想, 满足其课程要求。**为使教材符合我国高等院校的教学实际, 编委会根据《规范》的要求规划本套教材, 广泛征集在国内知名高校中从事一线教学和科研工作、经验丰富的优秀教师承担编写任务。

(2) **围绕“提高教育质量”的宗旨开发教材。**为了确保“精品”, 本系列教材的出版不走盲目扩大的路子, 每本教材的选题都将由编委会集体论证, 并由一名编委担任责任编委, 最大程度地保证这套教材的编写水准和出版质量。

(3) **教材内容的组织科学、合理, 体系得当。**本套教材的编写注重研究学科的新发展和新成果, 能够根据不同类型人才培养需求, 合理地进行内容取舍、组织和叙述, 还精心设计了配套的实验体系和练习体系。

(4) **教材风格鲜明。**本套教材按 4 个专业方向统一规划, 分批组织, 陆续出版。教材的编写体现了现代教育理念, 探讨先进的教学方法。

(5) **开展教材立体化建设。**根据需要配合主教材的建设适时开发实验教材、教师参考书、学生参考书、电子参考资料等教辅资源, 为教学实现多方位服务。

我们衷心希望本系列教材能够为我国高等院校计算机科学与技术等专业的教学作出贡献, 欢迎广大读者广为选用。

“面向计算机科学与技术专业规范系列教材”编委会

面向计算机科学与技术专业规范系列教材

编委会

主任委员： 蒋宗礼

副主任委员： 王志英 钱乐秋

委员：（以姓氏拼音为序）

陈道蓄	陈 明
傅育熙	何炎祥
黄刘生	贾云得
姜守旭	李仁发
李晓明	刘 辰
马殿富	齐 勇
孙吉贵	孙茂松
吴功宜	吴 跃
谢长生	于 戈
张 钢	周兴社

秘书组：温莉芳 刘立卿 姚 蕾

本书责任编委： 张 钢

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。

本书是针对“计算机工程”专业方向编写的《计算机组成基础》教材。教材编写以《专业规范》中对核心课程“计算机组成基础”提出的教学大纲为依据,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。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 63 或 72。

第 1 章 计算机系统概论(2~4 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 6 节。需要重点讲解的是电子计算机硬件的主要组成部分和计算机系统层次结构 2 部分内容。

第 2 章 运算基础——数值的机器级表示(7~8 学时)

本章是论述电子数字计算机的运算基础,包括 6 部分内容:数制、机器数与真值——带符号数与不带符号数的表示、定点数与浮点数表示、字符与字符串的表示、汉字编码和校验码。这是本教材的主要内容,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,而定点数与浮点数表示一节只要引出定点数与浮点数的概念即可,浮点表示及运算在第 3 章中论述。

第 3 章 数值的机器运算(11~12 学时)

数值的机器运算是运算器的主要功能,本章共分 5 节,即定点数加、减法运算,加、减法电路的实现、定点数的乘、除法运算,乘、除法电路的实现,定点运算器的基本结构与工作原理和浮点数运算和浮点数运算器的实现。本章的重点是定点数加、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;3)BCD 码(十进制)加法器;4)先行进位的并行加法器;5)BCD 码(十进制)加法器;6)定点运算器的基本结构;7)浮点运算器的基本结构。

第 4 章 存储系统和结构(9~10 学时)

存储系统是以程序存储和程序控制的电子数字计算机的重要的不可或缺的主要组成部分,本章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;5)Cache 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 3 种存储管理方式。其中 5)和 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(7~8 学时)

指令系统是计算机全部指令的集合,是 CPU 的一个重要特性。指令系统同硬件电路的工作密切相关。本章主要论述指令与指令系统、介绍两类指令系统——80x86 系列指令系统和 MIPS 机指令系统、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(11~12 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操作控制信号序列。在教学过程中应该使学生掌握:1)CPU 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、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(9~10 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内容较多,任课教师可按实际情况增删,并建议在教学中结合实物及图片(做在 PPT 上)。外围设备与主机的定时方式和信息交换方式必须讲解清楚,这是重点。

第 8 章 总线(7~8 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(包括内存接口和外设接口)的主要部件之一,总线性能的优劣成为微型计算机系统中影响系统数据传送速度的重要因素,总线也是系统的一项重要资源。本章主要内容有三部分组成: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。要求讲清 1)和 2)。实用总线标准中,主要讲 PCI 总线,教师可按实际情况选讲其余总线内容。

习题和习题课

本教材各章最后都附有较多的习题,任课教师可以根据本次教学情况,给学生留一些基本的或中等难度的习题作为课外作业。如有时间,也可以安排 1 至 2 次习题课。在习题课上可以由教师讲解以前课外作业中存在的带有普遍性的问题,也可以安排稍难一些的习题让学生在课上做出解答,然后由教师指导进行讨论。也可在发作业时,花一定时间对共性问题作讲评。

如有条件,可安排一定学时的实验(不在 63 或 72 学时内)。配套资料中有若干实验例题供参考,可下载。

面向计算机科学与技术专业规范系列教材

《面向计算机科学与技术专业规范系列教材》编委会 编

☆离散数学

数据结构与算法

☆C程序设计思想与方法

操作系统原理与实践

数据库系统

计算机网络

☆计算机网络与互联网

☆编译原理

☆计算机组成基础

计算机体系结构

嵌入式系统

软件工程

☆面向对象分析与设计

☆软件测试

☆软件需求工程

软件项目管理

人工智能

☆形式语言与自动机

电路与系统

数字电路与逻辑设计

大规模集成电路设计

Web系统与技术

信息安全

注：☆为近期出版图书

《面向计算机科学与技术专业规范系列教材》编委会 编



目 录

出版者的话

序言

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	9
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	10
1.3.1 字长	10
1.3.2 运算速度	11
1.3.3 存储容量	11
1.3.4 主频	11
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	18
1.6.5 人工智能	19

第 2 章 运算基础——数值的

机器级表示

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 字符与字符串的表示	29
2.4.1 二进制信息编码	29
2.4.2 ASCII 码	30
2.5 汉字编码	31
2.5.1 汉字的输入编码	31
2.5.2 国标码与汉字机内码	31
2.5.3 汉字字模码	31
2.6 校验码	32
2.6.1 概述——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	35

第 3 章 数值的机器运算

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	42
3.2 定点数的乘、除法运算和 乘、除法电路的实现	50

3.2.1	定点数的乘法运算和 乘法电路的实现	50	4.4.4	全相联映像	94
3.2.2	定点数的除法运算和 除法电路的实现	57	4.4.5	组相联映像	97
3.3	逻辑运算	62	4.4.6	替换策略和更新策略	99
3.3.1	“与”、“或”和 “非”运算	62	4.5	虚拟存储器	101
3.3.2	“异或”运算	63	4.5.1	虚拟存储器的基本 概念	101
3.4	定点运算器的基本结构与 工作原理	64	4.5.2	页式虚拟存储器	102
3.4.1	移位电路	65	4.5.3	段式虚拟存储器	104
3.4.2	定点运算的主要组成	65	4.5.4	段页式虚拟存储器	104
3.5	浮点数运算和浮点数 运算器的实现	66	4.5.5	快表技术	105
3.5.1	二进制数的浮点 表示法	66	第 5 章	指令系统	110
3.5.2	二进制数的浮点运算	67	5.1	指令与指令系统	110
3.5.3	浮点运算器的基本 结构	71	5.1.1	指令格式	110
第 4 章	存储系统和结构	76	5.1.2	寻址方式	114
4.1	存储系统的组成	76	5.2	介绍两类指令系统	118
4.1.1	存储器的分类	76	5.2.1	80X86 系列指令 系统	118
4.1.2	主存	76	5.2.2	MIPS 处理器指令 系统	120
4.1.3	辅存	78	5.3	指令流程	123
4.2	主存的组织与操作	78	5.3.1	指令执行过程	123
4.2.1	半导体存储器的基本 结构	78	5.3.2	3 种周期	124
4.2.2	存储器中的数据组织	79	5.3.3	两种典型的 CPU 结构 类型	124
4.2.3	半导体存储器的主要 技术指标	79	5.3.4	指令流程举例 1 —— 单总线结构 CPU	128
4.2.4	半导体存储器芯片的 发展	80	5.3.5	指令流程举例 2 —— 专用通路结构 CPU	130
4.2.5	主存储器的组织	82	第 6 章	中央处理器	135
4.2.6	多体交叉存储技术	86	6.1	中央处理器的功能与组成	135
4.3	存储系统的层次结构	87	6.1.1	中央处理器的组成	135
4.4	高速缓冲存储器	88	6.1.2	中央处理器的功能	136
4.4.1	Cache 的工作原理	88	6.1.3	控制器的组成	136
4.4.2	主存与 Cache 之间的 地址映像	89	6.2	硬连线控制器	137
4.4.3	直接映像	90	6.2.1	硬连线控制器概述	137
			6.2.2	硬连线控制器的 结构	138
			6.2.3	硬连线控制器的 设计步骤	140
			6.3	微程序控制器	140
			6.3.1	微程序控制器概述	140

6.3.2	微程序控制器的基本结构	141	7.2.4	U 盘存储器	182
6.3.3	微程序设计技术	142	7.3	外围设备与主机的定时方式和 信息交换方式	183
6.4	中断与异常处理	148	7.3.1	程序控制传送方式	184
6.4.1	中断与异常的定义	148	7.3.2	DMA 传送方式	188
6.4.2	中断处理过程	149	7.3.3	通道传送方式	191
6.4.3	中断优先级	151	7.4	图形用户界面	193
6.4.4	中断的嵌套	154	7.4.1	人机交互技术	193
6.5	中央处理器中流水线技术的 基本概念	154	7.4.2	图形用户界面概述	195
6.5.1	并行性的概念	154	第 8 章	总线	202
6.5.2	指令的 3 种解释 方式	157	8.1	总线概述	202
6.5.3	流水线技术的特点	161	8.1.1	总线和总线标准	202
6.5.4	流水线中的相关性	161	8.1.2	总线的分类	203
6.5.5	流水线的性能指标	161	8.2	总线通信协议、总线仲裁和 总线负载能力	205
6.5.6	流水线实例简介—— MIPS R4000	163	8.2.1	总线传输周期	205
第 7 章	I/O 接口与外围设备	166	8.2.2	总线通信协议	205
7.1	常用输入设备和输出设备	166	8.2.3	总线仲裁	207
7.1.1	键盘	167	8.2.4	总线的负载能力	209
7.1.2	鼠标	168	8.3	实用总线标准	210
7.1.3	扫描仪	168	8.3.1	PCI 总线	210
7.1.4	打印机	169	8.3.2	RS-232C 总线	219
7.1.5	显示器	171	8.3.3	IEEE-488 总线	222
7.2	外存储器	173	8.3.4	IDE/ATA 总线	222
7.2.1	磁盘存储器	173	8.3.5	SCSI 总线	225
7.2.2	磁带存储器	175	8.3.6	USB 总线	227
7.2.3	光盘存储器	177	8.3.7	IEEE 1394 总线	232
			参考文献	参考文献	235

计算机系统概论

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

就原始的、广义的意义而言,计算机(computer)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,使用了2000多年,南北朝时的数学家祖冲之就是用算筹计算出圆周率 π 的7位有效值(3.1415926~3.1415927),而欧洲数学家求出与该值相近的圆周率值比祖冲之迟了1000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,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. 机械式和机电式计算机

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)制成第一台机械加法器——十进制加法器。

1673年,德国数学家莱布尼茨(G. W. Leibniz)制造出第一台机械乘法器——可进行十进制乘、除运算的计算器。

1777年,英国逻辑数学家查里斯·马洪(C. Mahon)发明了逻辑演示器。

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,美国人查尔斯·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(Fleming)发明了真空二极管。

1906年,福莱斯特(Forrester)发明了具有电信号放大作用的真空三极管。

(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(G. 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,美国数学家香农(C. Shannon)在其硕士论文中提出,可以用二进制系统来表示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。要实现二种状态的机电元器件也容易制造。若采用十进制数时要用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岁的青年数学家阿兰·图灵(A. 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,图灵设计研制了密码破译机(BOMBÉ)。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“计算机与智能”,奠定了人工智能理论的基础。

1942年,依阿华州立学院理论物理学家阿塔诺索夫(J. Atanasoff)在研究生伯利(C. Berry)的帮助下用电子管作逻辑元件组装成了一台很小的计算机“ABC”。他们的工作因战争全面爆发而被迫停止。依阿华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,约翰·莫奇莱(J. Mauchly)博士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。

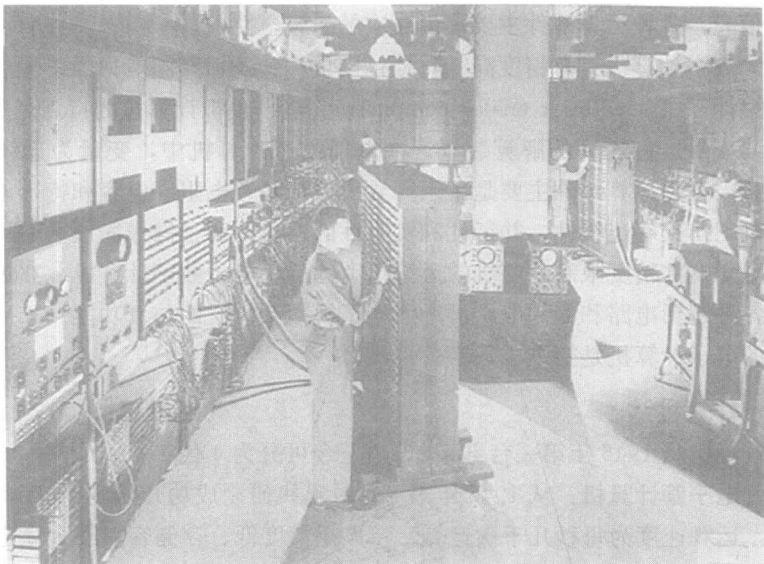


图1-1 ENIAC

(4)现代电子计算机的奠基人——冯·诺依曼(J. V. Neuman)

冯·诺依曼生于匈牙利,苏黎士大学数学博士,1930年赴美,1933年与爱因斯坦(A. 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, **电子离散变量自动计算机**)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,它能够通过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