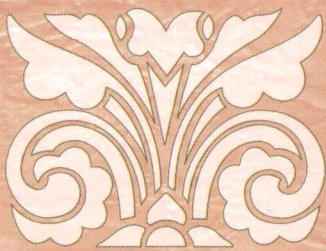


高等院校信息管理与信息系统专业系列教材

计算机组成原理教程

(第4版)

张基温 编著



清华大学出版社

TP303/30=3

2008

高等院校信息管理与信息系统专业系列教材

计算机组成原理教程

(第4版)

张基温 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书共分6章:第1章帮助读者快速、深刻并趣味地建立计算机系统的整体结构;第2章介绍计算机的存储体系;第3章介绍计算机的输入输出和控制技术;第4章介绍计算机的总线系统;第5章介绍计算机核心部件——处理器的工作原理和基本设计方法;第6章从体系结构和元器件两个方面介绍计算机的发展趋势。

本书概念清晰、深入浅出、取材新颖,从知识建构、启发思维和适合教学的角度组织学习内容,同时不过多依赖先修课程,适合信息管理和信息系统专业、计算机专业和其他相关专业使用,也可以供有关工程技术人员和自学者使用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理教程/张基温编著. —4版. —北京:清华大学出版社,2008.3
(高等院校信息管理与信息系统专业系列教材)

ISBN 978-7-302-16420-3

I. 计… II. 张… 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(2007)第169592号

责任编辑:范素珍

责任校对:时翠兰

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社总机:010-62770175

投稿咨询:010-62772015

地 址:北京清华大学学研大厦A座

邮 编:100084

邮购热线:010-62786544

客户服务:010-62776969

印 刷 者:北京密云胶印厂

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:18

字 数:423千字

版 次:2008年3月第4版

印 次:2008年3月第1次印刷

印 数:1~5000

定 价:25.00元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。
联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:025745-01

出版说明

20 世纪三四十年代,一直摸索着前进的计算技术与刚走向成熟的电子技术结缘。这一结合,不仅孕育了新一代计算工具——电子计算机,还产生了当时谁也没有料到的巨大效应:电子计算机——这种当初为计算而开发出来的工具,很快就超出计算的范畴,成为“信息处理机”的代名词。

信息能促成管理系统的优化,促进组织创新,绩效不断上升;信息能提高计划与决策的科学性和及时性,是信息时代组织生存、发展、竞争制胜的有力武器;信息能革新企业内部的生产力要素结构,使资源转换系统的生产率大幅度提高,并同时以不断增加的柔性适应市场需求结构和消费结构的快速变化。

随着信息技术的发展与广泛应用,人类开始能够高效率地开发并利用信息,信息资源对人类社会的作用得以有效地发挥,并逐步超过材料和能源成为人类社会的重要支柱,信息化成为一个时代的口号。与此同时,信息资源开发与管理人才越来越广受社会青睐。

信息管理与信息系统专业是一个培养信息化人才的专业,是一个培养信息资源开发与管理方面的专门人才的专业。从知识结构上看,它处在管理学、信息科学与技术 and 有关专业领域的交叉点上。它对技术有极高的要求,又要求对组织有深刻的理解,对行为有合理的组织,反映了科学与人本融合的特点。这种交叉与融合正是信息管理与信息系统专业最重要的特征,是别的学科或专业难以取代和涵盖的。但是,它从 20 世纪 70 年代末开始创办到 90 年代初,尽管国内专业数量已经上升到 150 多所,但还没有形成很好反映自己特色的一个教材体系。1991 年全国 10 所院校的信息管理专业的负责人在太原召开第一次研讨会,异口同声地谈起创建一套符合专业需要的教材体系话题。以后,又经过 1993 年在大连、1995 年在武汉,又有更多的院校参加了这一研讨之中。这些研讨活动得到了国家教委有关部门的赞许和支持。通过研讨,大家在建设具有专业特点的教材体系、改变简单照搬其他专业教材上取得了共识。1996 年正式启动这个项目,协商由张基温教授担任主编,由魏晴宇教授、陈禹教授担任顾问。在清华大学出版社的大力支持下,从 1997 年起这套我国信息管理与信息系统专业的第一套系列教材陆续问世。迄今已经 10 年多,当初规划的七八本教材已经扩展到 30 多本,形成了一套品种多样、影响面广的系列教材,不仅为信息管理和信息系统专业建设作出了贡献,而且也被许多计算机专业所选用。这些都是编委会全体同仁和作者、广大使用本系列教材的师生以及出版社的编辑们辛勤劳动的结果。

同时,我们也欣喜地看到,10 年来,信息管理与信息系统专业也有了较大的发展,不仅其规模已经发展到 500 多个点,而且随着信息化的纵深推进,随着电子商务、电子政务和企业信息化的发展,专业的教学内容也与时俱进地深化和更新,从过去的围绕信息系统分析与设计,已经延伸到信息资源的开发与管理;专业的定位也逐步明晰为信息化建设与管理培养人才。同时,近年来围绕提高教学质量,许多学校开展了精品课程建设和教材建设。这些都

标志这个专业正在走向成熟。

成熟的专业,需要优秀教材的支持。我们重新审视并修订这套教材。在这套教材问世10周年之际,我们再一次表示一个心愿:希望与全国的同行共勉,在教材和专业建设上齐心协力,作出更大贡献。我们将在原来的基础上,重新审视,不断补充,不断修改,不断完善。对于它的任何建设性意见,都是我们非常期盼的。为此,这一套教材将具有充分的开放性:每一本教材都是一个原型,每一位有志者对它的建设性意见都将会被采纳,并享有自己的知识产权,以使它们逐步成为精品。

《高等院校信息管理与信息系统专业系列教材》编委会

第4版前言

本书第4版是在第3版的基础上修订而成。第4版修订的基本思想是,使学习者对于计算机系统的学习更快、更有兴趣、更容易建立起整体概念,对概念的理解更为深刻。基于这种指导思想,本次修订的重点是第1章:通过介绍计算工具从外力到内力、从手动到自动、从裸机到虚拟机的发展过程,使学习者完成从感性到理性的领悟过程;接着从数值编码、字符编码、图形图像编码到指令编码,介绍0和1编码的基本规律;然后水到渠成地介绍诺伊曼原理,并通过模型机的工作过程使学习者初步建立计算机工作的轮廓;在此基础上,介绍计算机系统的发展趋势和评价体系。其他章节内容也做了部分调整。

在本书修订过程中,南通珠算博物馆提供了有关资料。同时,孙仲美、张秋菊进行了部分习题编写和校对工作,在此一并致谢。

本书的修订将不会画上句号。本人诚恳地希望阅读过本书的专家、老师和学生能无保留地提出批评意见和看法,帮助本人把这本书修订得更好。

张基温

2007年10月5日

第3版前言

本书是一本介绍计算机系统结构和工作原理的教材。

对计算机系统结构的研究可以从两个不同的角度,即从软件开发(在机器语言或汇编语言级)人员的角度和从计算机设计人员的角度来考虑。前者关心的是怎样合理地进行硬、软件功能的分配,为软件人员提供更适合的环境;后者关心的是怎样实现硬件功能和指标的分配,通过部件的逻辑设计、物理实现、合理地连接以及与软件之间的分工合作,来确定如何提高计算机系统的性能价格比。本书在取材和组织课程内容方面,充分考虑到信息管理与信息系统专业和应用型计算机专业的培养目标,采用以下一些做法。

(1) 本书只是大致介绍运算电路实现的基本思路,不涉及电路细节。因为对信息管理和信息系统专业来说,太多的硬件细节是不需要的。对计算机专业来说,这部分内容与数字逻辑课程中的内容有许多重叠,而且放到数字逻辑电路课程中介绍更为合适。这样,可以使学生把精力集中到计算机系统结构方面来。

(2) 计算机技术的发展已经使硬件与软件你中有我,我中有你,难以分离。就从计算机芯片的制造来说,没有编译系统与操作系统的支持,虚拟存储、流水线、多线程等技术将难以有突破性的发展。何况硬件与软件的可相互替代性都已被理论和实践证明。因此本书注意到计算机工作过程中,软件对硬件的支持。

(3) 不断汲取现代计算机技术中已经被应用的先进技术,同时注意一些有发展前途的技术,让学生在学到新知识的同时,激发他们的创新思维。

哈尔滨工业大学胡铭曾教授和山东大学毕庶本教授曾对本书第1版进行了认真审阅,提出了宝贵意见。在此再表谢意。

计算机技术是一门飞速发展的技术。本书自1999年第2版出版以来,计算机技术又有了新的发展。为了跟上计算机技术发展的步伐,本书在前面两版的基础上,再一次进行修订。这一版主要是对第2版的篇章结构进行了调整,增加了一些基础知识,更加关注新技术和新知识,使本书内容更适合信息管理与信息系统专业的教学。

参加过本书的编写和修订工作的还有赵忠孝、李爱军、张秋菊等。

本书涉及面广,既要讲清计算机的系统结构和工作原理,又要力求反映计算机科学中的新技术和新思想,还要考虑学时的限制,加之作者的水平有限,成书仓促,错误和问题在所难免,欢迎批评指正。

张基温

2003年9月

第2版前言

从信息技术的角度,信息管理与信息系统专业属于亚计算机类专业。对计算机专业,一般要开设如下一些硬件类课程:数字逻辑、计算机原理、计算机外部设备、计算机体系结构、微型计算机原理、计算机接口技术等。信息管理与信息系统专业和计算机专业不同,它要开设管理类课程。但是从信息管理与信息系统专业的特点看,让学生熟悉信息系统中硬件子系统的结构,掌握其参数的选择技术很有必要。因此,这门课定位于信息管理与信息系统专业的必修核心课,其内容应以计算机系统结构为主线,以计算机原理为重点。

对计算机系统结构的研究,有两个不同的角度:即从软件开发(在机器语言或汇编语言级)人员的角度和从计算机设计人员的角度。前者关心的是怎样合理地进行硬、软件功能的分配,为软件人员提供更适合的环境;后者关心的是怎样实现分配给硬件的功能和指标,通过部件的逻辑设计、物理实现和合理地连接,提高计算机系统的性能价格比。考虑到信息管理与信息系统专业的培养目标,本书涉及了这两个方面,但不涉及电路细节。由于信息管理与信息系统专业还要开设计算机网络,这部分内容也不列入本书。

哈尔滨工业大学胡铭曾教授、山东大学毕庶本教授先后仔细地审阅了本书的初稿,提出了宝贵、重要的修改意见,并给予笔者以热情的鼓舞,谨向他们表示诚挚的谢意。

本书第1版出版至今已近两年。两年间计算机技术又有了新的发展。为了将其迅速地反映在教学中,特做了一次修订。同时也纠正了第1版中的一些错误。李爱军同志参加了部分修改工作。

本书既想讲清计算机的系统结构和工作原理,又力求反映计算机科学中的新技术和新思想,还要考虑学时的限制,并且不想涉及较多的电子线路与逻辑电路知识。这对于作者来说,是有一定难度的,加之成书仓促,错误和问题在所难免,欢迎批评指正。

张基温

1999年春节

目 录

第 1 章 计算机系统概述	1
1.1 计算工具及其进步	1
1.1.1 从穴石记事到算盘——手动计算工具	1
1.1.2 从 Pascal 加法器到 ENIAC——内动力计算工具	4
1.1.3 从提花机到巴贝奇分析机——实现自动计算	7
1.2 0、1 编码	11
1.2.1 字与字节	11
1.2.2 数值数据的 0、1 编码	11
1.2.3 字符数据的 0、1 编码	19
1.2.4 图像的 0、1 编码	22
1.2.5 声音的 0、1 编码	24
1.2.6 指令的 0、1 编码与计算机程序设计语言	25
1.2.7 数据传输中的差错检验	27
1.3 电子数字计算机工作原理	30
1.3.1 诺伊曼原理	30
1.3.2 计算机存储器原理	30
1.3.3 开关电路的逻辑运算与算术运算	32
1.3.4 计算机控制器的工作原理	37
1.3.5 一个程序的执行过程	38
1.3.6 操作系统——计算机的自我管理	40
1.4 现代计算机系统结构与发展	43
1.4.1 现代计算机系统的模块结构	43
1.4.2 现代计算机系统的层次结构	43
1.4.3 计算机系统的主要性能指标	44
1.4.4 计算机系统的发展	46
习题	50
第 2 章 存储系统	53
2.1 主存储器	53
2.1.1 主存记忆元件	53
2.1.2 主存储器组成	56
2.1.3 主存工作模式与内存条	60

2.1.4	主存储器的主要指标	62
2.1.5	并行存储器	63
2.1.6	并行处理机的存储组织	66
2.2	辅助存储器	67
2.2.1	磁表面存储器原理	67
2.2.2	磁盘阵列 RAID	75
2.2.3	光盘存储器	76
2.2.4	闪速存储器	81
2.3	存储体系	82
2.3.1	存储系统的分层结构	82
2.3.2	虚拟存储器	84
2.3.3	cache-主存结构	86
	习题	89
第3章	输入输出及其控制	93
3.1	外部设备	93
3.1.1	外部设备分类及其发展	93
3.1.2	字符设备	96
3.1.3	图形与图像设备	99
3.1.4	语音处理设备	104
3.1.5	虚拟现实技术	105
3.1.6	流通领域用外部设备	108
3.2	输入输出中的数据传送控制	111
3.2.1	程序直接传送控制	111
3.2.2	程序中断控制	113
3.2.3	DMA 控制	122
3.2.4	通道控制	127
3.3	设备接口	132
3.3.1	外部设备与主机的连接	133
3.3.2	并行通信和并行接口	134
3.3.3	串行通信和串行接口	137
3.4	I/O 设备管理	139
3.4.1	缓冲区技术	139
3.4.2	设备驱动程序	141
3.4.3	I/O 设备分配	143
	习题	145

第4章 总线系统	148
4.1 总线工作原理	148
4.1.1 总线的通信控制方式	148
4.1.2 总线的组成与仲裁	150
4.1.3 总线特性与性能指标	152
4.1.4 总线分类	154
4.2 几种系统总线标准	157
4.2.1 ISA 总线	157
4.2.2 微通道结构 MCA 和 EISA	158
4.2.3 PCI 总线	159
4.2.4 AGP 总线	161
4.3 几种设备总线标准	162
4.3.1 EIA-232D/RS-449 串行接口标准	162
4.3.2 IDE 接口与 SCSI 接口总线	163
4.3.3 USB 总线	166
4.3.4 IEEE 1394 总线	168
4.3.5 IEEE 488 总线	170
习题	170
第5章 处理器	171
5.1 处理器的外特性——指令系统	171
5.1.1 机器语言与汇编语言	171
5.1.2 寻址方式	173
5.1.3 CPU 中的可编程寄存器	178
5.1.4 Intel 8086 指令简介	180
5.1.5 指令系统的设计内容	187
5.1.6 CISC 与 RISC	188
5.2 指令的时序设计	192
5.2.1 指令时序的控制	192
5.2.2 指令的微操作分析	193
5.2.3 指令时序信号的形成	195
5.3 控制器设计	196
5.3.1 时序部件设计	196
5.3.2 组合逻辑控制器	197
5.3.3 微程序操作控制部件	200
习题	204

第 6 章 计算机系统结构和器件的发展	210
6.1 计算机并行技术概述	210
6.1.1 计算机硬件并行技术的发展	210
6.1.2 计算机并行性开发的技术对策	210
6.1.3 Flynn 分类法	211
6.2 指令级并行技术	213
6.2.1 指令流水技术	213
6.2.2 流水线中的多发射技术	218
6.2.3 Pentium CPU	220
6.2.4 RISC 处理器的体系结构	223
6.2.5 流水线向量处理机	228
6.3 线程级并行技术	232
6.3.1 对称多处理器技术 SMP	233
6.3.2 同时多线程技术 SMT	238
6.3.3 超线程技术 HT	241
6.4 非诺伊曼体系的计算机系统	245
6.4.1 数据流计算机	246
6.4.2 归约机	250
6.4.3 智能计算机	251
6.4.4 人工神经网络计算机	255
6.5 计算机元器件技术展望	261
6.5.1 关于摩尔定律寿命的讨论	261
6.5.2 纳米电子器件	262
6.5.3 量子计算机	263
6.5.4 光学计算机	265
6.5.5 超导技术	266
6.5.6 生物计算机	267
习题	269
附录 A 国内外常用二进制逻辑元件图形符号对照表	270
参考文献	272

第1章 计算机系统概述

人类在长期的劳动中建立了自己的知识体系,并开发和创造了工具,用工具扩展和延伸自己的功能:用机械工具扩展和延伸自己的肢体,用检测工具扩展和延伸自己的感官,用计算机工具扩展和延伸自己的大脑。

不同的时代,囿于知识水平、科学技术水平和生产力水平的限制,人类对于工具的需求和开发重心有所不同。从原始时代到工业时代的漫长岁月中,人们迫于生存的压力、争夺的需要,把开发工具的重心放在了扩展和延伸自己的肢体方面,制造了弓箭、刀枪、锤斧、锯刨、炮舰、炸药、车船、飞机、机床……而只有到了科学技术发展到较高水平,人类资源开发的重心从物质资源和能源资源转到信息资源,机械工具从外力工具进步到内力工具,再进步到自动工具时,计算工具的发展才成为人类工具开发的重心,于是计算机开始成为现代社会的重要生产、生活和学习工具,信息技术的发展和应用水平成为生产力水平的重要指标之一。

1.1 计算工具及其进步

纵观计算工具的发展历史,人类计算工具已经经过了算筹、算盘、计算尺、手摇计算机、电动计算机、真空管计算机、晶体管计算机、大规模集成电路计算机,正在向生物计算、光计算、量子计算等方向探索。分析其发展的动力,主要来自两个方面的需求:提高计算能力(计算速度和精度等)和提高计算的可用性(方便性等)。

分析计算机工具技术,还可以看出,它的发展是从两个方面不断向前推进的:计算机体系结构的进步和元器件技术的进步。

这一节主要想通过计算工具体系结构的进步,让读者明白现代计算机具有什么样的结构?为什么需要这样的结构?

1.1.1 从穴石记事到算盘——手动计算工具

人类计算工具的开发是从记数开始的。在原始社会中,为了扩展大脑的记忆能力,人们采用了结绳记事、石子记事、刻木记事的方法。图 1.1 为一种石子记事的想象图。那时,人类对于“数”的概念最初只有“一、二、多”,还不能精确地区别数量。后来随着生产力的发展,剩余物质开始增多,数的概念也必须扩充,计算工具从记数走向计数。计数就是对数进行度量,是一种简单的计算。其中最自然的度量数的方法是用人的 10 个指头与绳结、穴石、刻痕进行比较。于是,手就成为一种计算工具。但是,人的手指也是有限的。随着数的概念的进一步扩充,人们开始扩充和延伸手指的计数功能。

珠算就是一种用来扩展手指运算功能的计算工具。它通过对算珠按一定规则的排列来表示数字。根据 1976 年 3 月在陕西岐山县发掘出的西周陶丸推测,远在周代(3000 多年前)中国已经在使用算珠进行计算。迄今发现的关于珠算的记载则出现在东汉徐岳所著的



图 1.1 石子记事

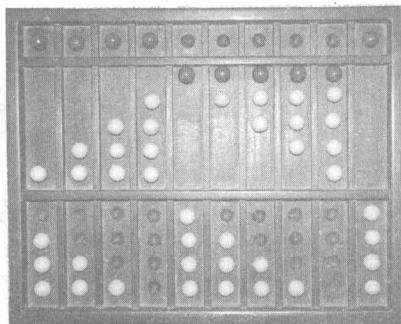


图 1.2 游珠算板

《数术记遗》一书中。书中记载了作者收集的我国汉代以前的 14 种算法和算具有：积算、太一、两仪、三才、五行、八卦、九宫、运筹、了知、成数、把头、龟算、珠算、针算。其中关于珠算的记载为：“珠算：控带四时、经纬三才。”北周数学家甄鸾的注释为：“刻板为三分，其上下二分以停游珠，中间一分以定算位。位各五珠，上一珠与下四珠色别，其上别色之珠当五，其下四珠，珠各当一。至下四珠所领，故云‘控带四时’。其珠游于三方之中，故云‘经纬三才’也。”

图 1.2 为其推想图，也被称为游珠算板。它将刻板分为 3 段，每位上都有 5 颗珠子，其中一个珠子（称上珠）与其他 4 颗（称下珠）颜色不同。它所采用的五升十进制，就是对人两只手、十个指头的模拟和放大。后来为了便于携带，人们把珠子穿起来，并进一步改进，就成了图 1.3 所示的算盘。

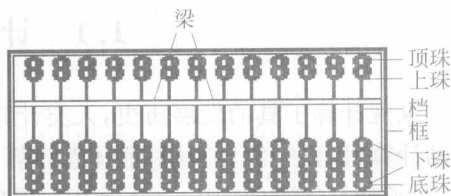
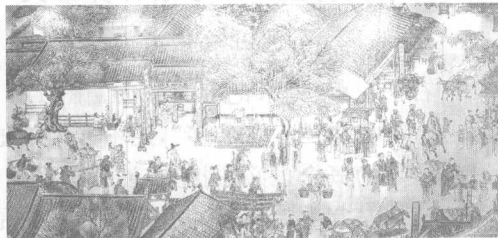


图 1.3 算盘

算盘采用了上 2 下 5 的结构，不仅可以按照十进制进行计算，还可以按照十六进制进行计算（每位上所有珠子的总和位 15，满 16 则向左进 1），因为中国古代的重量单位中，一斤等于 16 两。北宋（公元 960 年）著名画家张择端的大作《清明上河图》左端的“赵太丞家”药铺柜台上所放置的算盘（见图 1.4），不仅用于计算银两，还可以计算药材重量。



(a) “赵太丞家”药铺

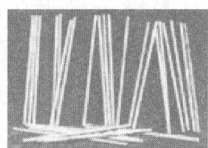


(b) 《清明上河图》

图 1.4 《清明上河图》左端的“赵太丞家”药铺

中国古代长期使用的另一种用来模拟和放大手指运算的工具称为算筹。早期的算筹是用树枝或竹节等制成的，后来被经过细加工成为专用的计算工具（见图 1.5(a)）。算筹也采

用五升十进制,用 5 根算筹就可以表示 0~9 中任何一个数,大于 9 的数向左面进一位。如图 1.5(b)所示,表示数据分为纵式和横式两种方式。《夏侯阳算经》中说:“一纵十横,百立千僵,千十相望,万百相当。满位以上,五在上方,六不积算,五不单张。”意思是,纵式表示个、百、万位,横式表示十、千、十万位……空位表示零。这样,就可以用算筹表示出任意大的自然数了。图 1.5(c)为 3 个记数实例。这种记数工具被称为算筹或算子,因为人们不仅用它们记数,还可以用来进行计算。图 1.5(d)为用算筹进行计算的实例。



(a) 算筹

形式 \ 数字	1	2	3	4	5	6	7	8	9
纵式	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅶ	Ⅷ	Ⅸ
横式	—	=	≡	≡	≡	⊥	⊥	⊥	⊥

(b) 算筹表示数据的两种方式

$$\begin{array}{c} \equiv \\ \equiv \\ \equiv \end{array} = \equiv \equiv \equiv \equiv \\ 5428$$

$$\equiv = \equiv \equiv \equiv \equiv \equiv \equiv \\ 32591$$

$$\perp \perp \equiv \perp \perp \equiv \equiv \equiv \\ 60837924$$

(c) 算筹记数实例

$$\begin{array}{c} \equiv \\ \equiv \\ \equiv \end{array} \equiv \equiv \equiv + \equiv \equiv \equiv \perp \equiv \equiv \equiv = \perp \equiv \equiv \equiv \equiv \\ 2356 + 4789 = 7145$$

(d) 算筹计算实例

图 1.5 算筹

算筹可以表示任何自然数,还能够进行加、减、乘、除、乘方、开方等复杂的计算。在漫长的时期中,中国人一直使用这种计算工具进行计算。中国古代数学家祖冲之(429—500 年,字文远,南北朝时期著名数学家、天文学家,见图 1.6)就是使用这种计算工具将圆周率计算到了小数点后面的 7 位。

在中国古代,算筹和算盘长期共存在不同的地域或人中。它们互相影响,互相借鉴。早期算筹流行较广。后来游珠算盘被改进,算珠被串在一起,变得方便起来,就逐渐取代了算筹,到了明代就成为主流计算工具。

算筹与算盘除了都采用五升十进制外,还有一个重要的共同之处是它们的计算过程都要依据口诀(歌诀)进行。例如,朱世杰《算学启蒙》(1299 年)卷上的“归除歌诀”为:“一归如一进。见一进成十。二一添作五。逢二进成十。三一三十一。三三六十二。逢三进成十。四一二十二。四二添作五。四三七十二。逢四进成十。五归添一倍。逢五进成十。六一下加四。六二三十二。……九归随身下。逢九进成十”。这些口诀是布筹或拨珠的依据,它们可以简化计算过程,便于传播,是人类计算工具史上最早的用于计算的专门语言——计算语言。

用这种计算语言可以编制计算问题的歌诀,即程序。例如用算盘计算 $42+39$ 的口诀为:



图 1.6 祖冲之

三下五去二(计算十位的 $4+3$, 结果为 72)

九去一进一(计算个位的 $2+9$, 结果为 81)

这是世界上意识明确的程序设计工作。这种思想实际上是把一个计算过程分成两部分: 设计程序和执行程序, 形成计算工具的两大要素: 软件和硬件, 并用软件——程序来控制硬件的工作过程。这样, 就可以在相对简单的硬件上, 通过软件实现更多种的复杂计算。这实际上也是现代计算机工作的基本结构。不同的是, 现代计算机可以自动执行程序, 而算盘和算筹不能自动执行程序, 布筹、拨珠, 都必须人工进行, 计算者被绑定在计算过程中。

在西方, 人们长期使用的计算工具是计算尺和手摇计算机。计算尺(见图 1.7)实际上是一种查表方法, 它利用对数方法将一些常用函数值刻在直尺的不同行上, 通过滑尺确定参数来查计算的结果。

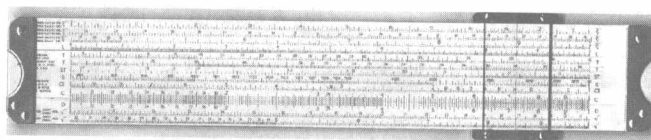
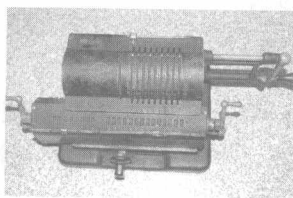
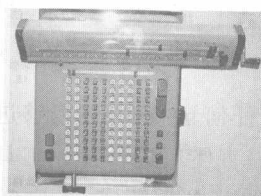


图 1.7 计算尺

手摇计算机是利用齿轮产生进制, 实现计算。图 1.8 为两款手摇计算机的实例。



(a) 拨键式手摇计算机



(b) 按键式手摇计算机

图 1.8 两款常用手摇计算机

计算尺和手摇计算机都是人工计算工具。尽管它们制作比较复杂, 但性能价格比和灵活性还比不上算盘。原因是算盘的计算除使用了有形的算盘之外, 还使用了无形的口诀。用今天的术语来说, 珠算过程是又硬件和软件共同完成的。软件可以扩充硬件的功能, 并使其应用更加灵活。

1.1.2 从 Pascal 加法器到 ENIAC——内动力计算工具

分析算盘和算筹的工作可以知道, 要让一个计算工具会自动进行计算, 首先它自己要会动, 即要有内动力, 而不需人去摇动或拨动。

满足这个要求的第一台计算机是由法国著名科学家帕斯卡(Blaise Pascal, 见图 1.9)发明的。Pascal 于 1623 年出生在法国一位税务官家庭中, 他从小目睹着年迈父亲每天计算税率税款的艰辛, 立志用计算机解脱父亲的辛劳。19 岁那年, 他发明了人类有史以来第一台有内动力的机械计算机(见图 1.10)。



图 1.9 B. Pascal

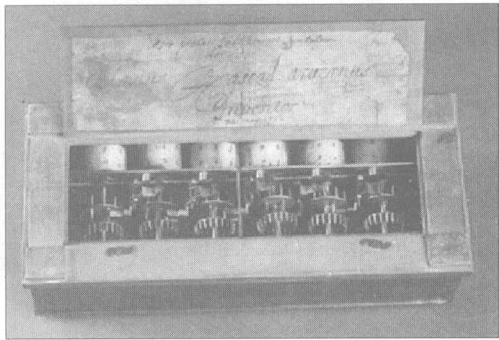


图 1.10 B. Pascal 制造的计算机

Pascal 的计算机是一种系列齿轮组成的装置,外形像一个长方盒子,只能够做加法和减法,所以后人也将这种机器称为 Pascal 加法器(Pascaline)。它与先前计算工具的不同之处是有了内动力,使用了钟表中的发条驱动。尽管如此简单,但也是一个非常了不起的进步。

Pascal 逝世后不久,1694 年德国伟大的数学家莱布尼兹(Wilhelm Leibnitz, 1646—1716 年,见图 1.11)发现了一篇由 Pascal 亲自撰写的关于加法器的论文,勾起了他强烈的发明欲望。他利用乘是加的连续、除是减的连续的原理,在 Pascal 加法器的基础上,于 1674 年制造成功了能进行加、减、乘、除运算的计算机(见图 1.12)。这台机器被后人称为乘法器。



图 1.11 G. W. Leibnitz

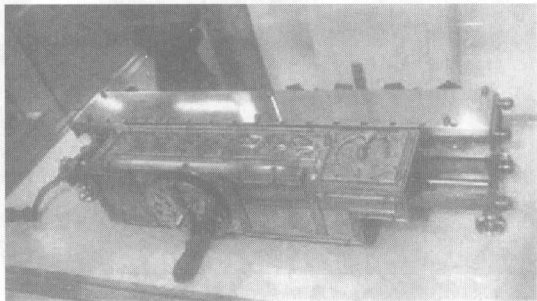


图 1.12 Leibnitz 的乘法器

遗憾的是,Leibnitz 乘法器没有内动力,是一种手摇计算装置。不过它却奠定了以后风靡世界的手摇计算机的基础。进入电气时代后,人们为它装上电动机以驱动机器工作,成为电动计算机。图 1.13 为一台电动计算机产品。

1938 年,Zuse 用继电器实现了按照二进制运算的电气-机械式计算机 Z1(见图 1.14),使计算机的运算不再靠转动驱动。