

宋焕章 张春元 王保恒

计算机原理与设计

中央处理器

(上册)

国防科技大学出版社

计算机原理与设计 (上册)

中央处理器

宋焕章

张春元

王保恒

国防科

30
22

及上

计算机原理与设计(上册)

——中央处理机

宋焕章 张春元 王保恒 编著

国防科技大学出版社
·长沙·

内容简介

本书分为上、下两册,上册为中央处理机,下册为存储与外设。

上册共五章,内容包括绪论,指令系统,运算方法和运算器,控制器,总线。

本书主要用作高等学校计算机专业的教材,也可作为有关专业和科技人员的参考书以及计算机专业类高等教育自学考试用书。

图书在版编目(CIP)数据

计算机原理与设计(上册):中央处理机/宋焕章等编著. — 长沙:国防科技大学出版社,2000.6
ISBN 7-81024-559-7

I. 计… II. 宋… III. ①电子计算机-基础理论②电子数字计算机-中央处理机 IV. TP303

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 23222 号

国防科技大学出版社出版发行
电话:(0731)4555681 邮政编码:410073
E-mail: gfkdcbs@public.cs.hn.cn
责任编辑:黄 煌 责任校对:张 静
新华书店总店北京发行所经销
国防科技大学印刷厂印装

*

787×1092 1/16 印张:18 字数:416 千
2000 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数:1—5000 册

*

定价:24.00 元

前 言

计算机原理与设计或计算机组成原理是高等院校计算机科学与技术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(又称为冯·诺依曼计算机)的结构组成、工作原理与部件的设计方法。通过本课程的学习,主要了解计算机是什么,它是怎样通过运行程序来完成计算和信息处理的,计算机硬件系统的各部件是怎样设计的……

国防科技大学是国内最早建立计算机学科的重点大学之一。40多年来,先后研制了电子管、晶体管、集成电路和超大规模集成电路等几十种类型的计算机。其中如 441-B 晶体管计算机,151 大型通用计算机,银河-I 型、II 型、III 型巨型计算机等都填补了当时国内计算机领域的空白,为发展民族计算机产业和赶超世界先进水平作出了巨大贡献。《计算机原理与设计》是计算机学院老中青三代教师几十年教学与科研的结晶。

本书自 1984 年出版以来,曾修订再版,先后印刷十多次,受到了广大读者的欢迎。随着计算机科学技术的快速发展,重新编著本书势在必行。这次出版,在全书组织结构和内容更新上都作了较大的努力,以使本书结构更精炼,内容更具有时代感。

本书大纲及内容组织系集体讨论确定。上册第一、三章,下册第三、五、六章由宋焕章编写;上册第二、四、五章由张春元编写;下册第一、二、四章由王保恒编写;全书由宋焕章负责统编定稿。

计算机科学技术日新月异,本书谬误之处敬请读者指正为盼。

作者电子信箱:cyzhang@nudt.edu.cn。

编 者

2000 年 2 月于国防科大计算机学院

目 录

第一章 绪论

1.1 计算机及其发展史	(1)
1.1.1 啊! 计算机	(1)
1.1.2 计算机的巨大作用与深远意义	(3)
1.1.3 计算机发展简史	(5)
1.2 计算机系统组成	(8)
1.2.1 存储程序原理	(8)
1.2.2 计算机硬件系统	(9)
1.2.3 计算机软件系统	(13)
1.2.4 计算机系统层次结构	(15)
1.3 计算机的性能指标和分类	(17)
1.3.1 计算机的性能指标	(18)
1.3.2 计算机的工作特点	(22)
1.3.3 计算机的分类	(22)
1.4 计算机的应用与发展	(25)
1.4.1 计算机的应用	(26)
1.4.2 计算机的发展	(30)
习题	(32)

第二章 指令系统——程序员的计算机

2.1 计算机中数据表示	(33)
2.1.1 整数数据(定点数据)表示	(34)
2.1.2 浮点数据表示	(38)
2.1.3 字符串数据表示	(43)
2.1.4 堆栈数据表示	(48)
2.1.5 向量数据表示*	(50)
2.1.6 数据表示小结	(53)
2.2 计算机指令的格式	(54)
2.2.1 指令的格式	(54)

2.2.2 指令系统的分类	(60)
2.3 基本指令和指令类型	(61)
2.3.1 数据传送指令	(64)
2.3.2 算术逻辑运算指令	(65)
2.3.3 数据转换指令	(66)
2.3.4 程序控制指令	(67)
2.3.5 输入输出指令	(71)
2.3.6 系统控制指令	(71)
2.4 寻址技术	(72)
2.4.1 基本寻址技术	(72)
2.4.2 复合寻址方式	(78)
2.4.3 寻址方式举例	(79)
2.5 指令系统的设计	(85)
2.5.1 指令系统设计的要求	(85)
2.5.2 精简指令系统	(87)
2.5.3 指令系统设计实例	(89)
2.6 小结	(95)
习题	(96)

第三章 运算方法与运算器

3.1 逻辑运算及常用算术微操作	(98)
3.1.1 逻辑微操作	(98)
3.1.2 移位微操作	(102)
3.1.3 算术微操作	(107)
3.2 定点加(减)法运算	(109)
3.2.1 二进制加(减)法运算	(109)
3.2.2 二进制补码加法器	(112)
3.2.3 多功能算术逻辑运算部件 ALU	(115)
3.2.4 十进制加法器	(119)
3.3 定点乘法运算	(121)
3.3.1 原码一位乘法	(122)
3.3.2 补码一位乘法	(125)
3.3.3 快速乘法	(134)
3.4 定点除法运算	(141)
3.4.1 原码一位除法	(141)
3.4.2 补码一位除法:加减交替法	(147)
3.4.3 补码一位除法:比较法	(154)

3.4.4 快速除法	(156)
3.5 浮点运算方法	(160)
3.5.1 浮点加(减)运算	(160)
3.5.2 浮点乘法运算	(164)
3.5.3 浮点除法运算	(166)
3.6 运算器组织	(168)
3.6.1 运算器的基本结构	(168)
3.6.2 运算器组成实例	(171)
3.6.3 位片式运算器	(174)
3.6.4 浮点运算器	(174)
习题	(177)

第四章 控制器

4.1 指令结构	(181)
4.1.1 实例计算机的程序员界面——指令系统和数据表示	(182)
4.1.2 实例计算机指令的定义	(183)
4.2 控制器的基本设计技术	(186)
4.2.1 控制器的基本组织	(186)
4.2.2 基本控制器的设计	(189)
4.3 指令流控制和复杂指令的设计	(200)
4.3.1 计算机指令流的控制	(200)
4.3.2 局部控制周期技术	(203)
4.3.3 组合逻辑控制器设计总结	(206)
4.4 寄存器传送语言	(207)
4.5 微程序控制器技术	(208)
4.5.1 微程序控制基本概念	(208)
4.5.2 微程序控制基本原理	(210)
4.5.3 实例计算机的微程序实现	(213)
4.6 微程序的技术问题	(217)
4.6.1 微命令控制信号编码与微指令格式	(217)
4.6.2 微指令顺序控制	(222)
4.6.3 微程序控制器小结	(225)
4.7 外部信号对计算机的控制	(226)
4.7.1 中断	(226)
4.7.2 中断系统及其实例	(230)
4.7.3 直接存储器访问 DMA	(234)
习题	(237)

第五章 总线

5.1 计算机的模块结构和互连	(238)
5.2 总线的结构	(239)
5.2.1 总线通道的组成	(240)
5.2.2 总线上的设备	(242)
5.2.3 总线接口	(243)
5.2.4 总线控制器	(245)
5.3 总线的设计和使用	(246)
5.3.1 总线的宽度	(246)
5.3.2 总线的类型	(246)
5.3.3 总线的仲裁	(248)
5.3.4 总线的定时方式	(255)
5.3.5 总线的数据传送方式	(258)
5.4 总线与系统	(262)
5.4.1 单总线系统	(262)
5.4.2 多总线系统	(263)
5.5 总线实例	(264)
5.5.1 微处理器总线	(265)
5.5.2 PCI 总线	(270)
习题	(279)
参考文献	(280)

第一章 绪 论

当今世界,信息化、数字化、电脑化的浪潮汹涌澎湃,人们无时无刻不在感受着电脑带来的魅力和风采。那么,什么是电脑?电脑就是电子计算机。计算机是人类创造的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,那么用计算机代替人脑进行信息加工与信息处理,则可以说是人类大脑的延伸。因此,人们习惯称计算机为电脑,确也恰如其分。

半个世纪以来,计算机科学技术以磅礴之势迅猛发展,以非凡的渗透力和亲合力深入到人类活动的各个领域。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。

作为计算机专业的学生和热衷于探寻计算机奥秘的读者,自然会要问:计算机是什么?它是怎样构成的?又是怎样工作的?本书就是要系统地探讨计算机的基本结构、工作原理和设计方法。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、分类及工作特点,计算机应用类型及发展瞻望,以期使读者对计算机先有一大体了解,并为学习后续章节奠定基础。

1.1 计算机及其发展史

1.1.1 啊! 计算机

1997年5月12日,一条新闻让全世界都目瞪口呆:IBM公司的“深蓝”计算机出奇制胜,以3.5:2.5的总比分击败人类最伟大的棋手——国际象棋特级大师卡斯帕罗夫!这一非凡之战不但使国际象棋大师们心悦诚服和拱手认输,更使全世界关注这一赛事的人们赞叹不已:啊!计算机!

这台“深蓝”电脑是一台RS/6000 SP2超级并行计算机,有256块处理器芯片,每块芯片每秒能推算200万步棋,加起来就是具有每秒2亿步的神速。“深蓝”计算机里还存储有100多年来全世界所有国际象棋特级大师开局和残局的棋谱。在具有如此高的推算速度和记忆能力的超级计算机面前,卡斯帕罗夫的失败是可以理解的。其实,在当今世界,计算机的神奇与威力在各个领域都得以展现,它的每一种本领都能使人拍案叫绝。

战争历来是人类不惜性命要分出高低的暴力争斗。有人说,战争没有赢家可言,只有输和输得更惨的,这一语道破了战争的残酷性。1991年的海湾战争人们至今记忆犹新,它改变了人类传统的战争观念。它的大赢家不是别的,正是计算机。在那次和以后多次空袭伊拉克,以及1999年北约对南联盟科索沃的空袭中都使用了一种“战斧”式巡航导弹。人们从电视屏幕中发现,这家伙居然会拐弯抹角,绕过一些高大建筑物直奔袭击目

标,大有不达袭击目标誓不罢休之势。这是为什么?原来在导弹中装有计算机!空袭开始前,通过侦察卫星将空袭目标和导弹需通过的路径形成数字地图输入计算机,导弹飞行中,通过数字匹配技术,计算机不断予以校正,从而“按图索骥”,直奔袭击目标。还有一种大出风头的“爱国者”,这是一种反导弹装置。它何以能以70%以上的成功率拦截“飞毛腿”呢?原来也是计算机在起作用!只要“飞毛腿”一发射,其尾焰立即被盘旋在空中的侦察卫星检测到,并立即将此信息转换成数字信号发往澳洲的美空军基地和北美防空司令部。这两个地方都配置了具有强大处理能力的巨型计算机,能在几分钟之内对此进行判断并计算出对方的飞行路径,然后下达指令给沙特基地的计算机,控制启动“爱国者”升空,将“飞毛腿”拦截于安全区外。要知道,“飞毛腿”从发射到击中目标只有7~9分钟的时间。要在如此短暂的时间内,如此准确地实现空中拦截,计算机的运算速度和精度要求有多么高!在整个防御系统中,澳洲、北美、沙特的基地都配备了巨型计算机,而侦察卫星、“爱国者”指挥系统及“爱国者”导弹本身也都装备了性能优越的计算机。

海湾战争使人们发现:那些名目繁多的导弹与战斗机,只不过是钢铁、炸药与芯片的组合。用托夫勒的话来说,它们只不过是“一台会飞的电脑”。现代战场的每一角落,计算机无处不在。从地面司令部的C³I(指挥、通信、控制和信息)系统,到空中预警飞机的监测系统;从多国部队的调配,到后勤装备的供应;从航空母舰的指挥,到士兵手中的GPS定位仪……,各种大小、功能各异的计算机都在运行。无怪乎人们会说,以后的战争将是信息战、电子战。战场中最具有杀伤力的武器不是导致火光四起、血肉横飞的炸弹和冲锋枪,而是一种无声、无色、无味而威力无比的“逻辑炸弹”,即电子计算机。克劳塞维茨说,战争是政治的继续;而电子战专家则说,战争是游戏的开始。计算机这种源于战争而又最早应用于军事的机器,将人类肉体的厮杀变为“0”和“1”之间的智力搏斗,计算机将前所未有地改变战争的形态。

不但战场上计算机大显神威,在人类活动的各个领域计算机都在不停地工作。

近几年,中央电视台《新闻联播》之后的《气象预报》,是收视率最高的节目之一。气象云图、台风警报、洪涝灾害无一不牵动着亿万观众的心。气象预报何以如此准确?原来也是应用了计算机。在北京中央气象台的机房里,由国防科技大学计算机学院研制的银河-II型10亿次巨型机夜以继日地工作着。通过气象卫星获取的各种气象数据经银河-II快速处理后,绘制或显示出气象云图,并给出天气预报的各种参数。银河-II型巨型机的投入运行,使我国的气象预报由过去的24小时提前到48小时,以至一周的时间,从而使我国的气象预报跨入了世界先进行列。

在我国的石油勘探研究院,由各油田送来的地质勘探数据磁带成卡车地运到计算中心。如此海量的数据从何而来?原来,油田勘探工作者采取多点爆破的方法,收集了油田地下石油储藏情况大量甚至是海量的数据。这些数据需经银河巨型机处理后,才能探明油田石油储藏分布的情况,从而制定开采计划。在没有采用巨型计算机之前,探明一个油田的储量及分布往往需几年甚至几十年,而且油田的开采往往处于盲目和无计划的状态。而现在应用类似于银河巨型机的计算机进行数据处理后,勘探周期缩短为几个月甚至更短。巨型机对于我国的石油地质勘探事业的贡献是功不可没的。

在科学研究中,风洞实验中的空气动力学实验,核物理中的原子裂变及实验仿真,生

物理学中的 DNA 及胰岛素研究,航空航天中飞行器的设计、试验、发射及测控,若没有计算机或是高性能计算机则将一无所成。在工程设计中,结构力学的工程计算,桥梁、水坝、大型建筑物的设计与绘图,采用计算机设计后,缩短了设计周期,提高了设计质量。在工业生产中,无论是轧钢、汽车装配,还是纺织、印染、家电等轻工产品的生产,过程控制计算机都在为提高产品质量和生产效率而大显身手。至于在机关,办公自动化及无纸办公的实现;在企业,各种信息管理系统的运用,无一不与计算机休戚相关。

在文化艺术等领域也同样少不了计算机。北大方正和华光科技的计算机编辑和激光照排系统,使出版印刷摆脱了沉重的铅字,成为印刷史上继毕升以来的又一次革命。电影《泰坦尼克号》、《星球大战》、动画片《狮子王》、《西游记》、《宝莲灯》中,那冰海沉船的悲壮场景,那光怪陆离的打斗场面,那形象逼真的自然环境等,都离不开计算机的制作与合成。它给人的视觉效果远非人工制作可比,无怪乎人们称它是电影魔术!至于计算机音乐、计算机美术和计算机游戏等无一不给人们以耳目一新的感觉。

在人们生活中,计算机也是无处不在。当你走进超市购物,计算机条码终端可以自动识别价格,打印出票据。在银行,你可以通存通兑,异地存取。在宾馆,在商店,你可以持一张信用卡潇洒地消费。在医院,无论是常规检验、病案管理,还是 CT 扫描、自动监护,都有不同功能的计算机在工作。打电话,有计算机自动计费。出门坐出租,有自动计税计价器计程和显示。要购买车票和机票,有联网的计算机售票系统就近为您服务。就是在家中,即使您没有个人电脑,但彩电、冰箱、洗衣机、空调、VCD、微波炉等等,不都有嵌入式的计算机在忠于职守吗?

计算机与通信技术相结合,真正是如虎添翼。通过因特网和所谓信息高速公路,您可以给朋友发电子邮件,可以打 IP 电话,可以与别人谈心,可以检索查询全球任一图书馆的情报资料;利用网络,可以实现远程教学和远程医疗会诊,召开电视电话会议;通过网络,企业与企业、企业与消费者个人之间可以进行电子商务活动。只要您有一台手提计算机,不论您现在何处,都可以与单位联系,实现异地指挥与办公。

啊!计算机,这最富智慧的知识工具,它改变了社会,改变了人们的生活。它为人类社会带来了财富,带来了梦想。可以预料,计算机及信息化、数字化、智能化和网络化将给人类社会带来更加光辉灿烂的明天!

1.1.2 计算机的巨大作用与深远意义

对于五彩斑斓的计算机世界,我们无法细致详尽地一一展示。仅如此,也足令我们理性地思索:计算机对人类社会有何作用?对未来世界又有什么影响呢?

首先,计算机的产生与发展,使信息资源成为人类认识自然、改造自然的新的战略资源。

人类几千年的文明史,基本上是农业社会,是自给自足的自然经济。人类最早认识和开发的是物质资源。制作简单的工具,从事个体、家庭或小作坊式的生产,生产方式落后,生产率低下,经济发展缓慢。18 世纪,蒸汽机的发明标志着工业革命的兴起。人类开始了能源的开发与利用,制造出各种各样的机器,大大地延伸了人的体能,提高了劳动生产率,人类从此进入大规模生产的工业社会。工业化为人类创造了巨大的社会财富,显著地

提高了劳动生产率,促进了市场经济的发展与繁荣。但同时,工业化生产也带来了物质与能源的大量消耗与浪费。计算机的发明和发展,使人类有了自动化、数字化、智能化的强大工具,大量信息资源的开发,知识经济的崛起,使人类社会的物质生产水平和劳动生产率空前提高。以计算机的普及应用和信息资源开发利用为标志的信息革命,预示人类进入了一个崭新的时代——信息时代。信息时代的到来,使人类在拥有物质和能源两大战略资源外,又开拓了人类认识自然、改造自然的新的战略资源——信息资源。

其次,计算机的应用所带来的知识经济的挑战,将对人类的发展和世界经济的发展格局带来深刻的影响。

计算机的问世,个人电脑的普及,因特网的崛起,信息高速公路的兴建,使人类的知识总量迅速增加,获取知识和应用知识的能力大大提高。知识对经济增长的贡献率从20世纪初的5%~20%迅速上升到90%。

计算机及由此带来的信息革命推动了科技和教育的现代化。知识和信息取代资本与能源,对经济增长起决定性作用。与基本生产要素相适应,生产工具发生了质的变化。农业经济时代,基本生产要素是土地与劳力,与此相适应的生产工具是锄头、犁耙等手工工具。工业经济时代,基本生产要素是资本和能源,与此相适应的生产工具是机器设备。在知识经济时代,基本生产要素是知识和信息,与此相适应的生产工具是计算机和网络。计算机尤其是硬件和软件的不断创新,以及以因特网为核心的网络革命,成为经济发展的强大助推器。

电子化、数字化、网络化使人类社会的生产、销售、服务,乃至机构组成、企业形象等方面的概念与操作都面临深刻的变化。信息社会不同于农业社会和工业社会,既不是农田水利,也不是能源交通,而是计算机与网络。以计算机及电子信息为主的信息产业已成为国民经济新的增长点。自1993年以来,美国的信息产业产值已占国内生产总值的三分之一,并已取代建筑业和汽车业,成为美国最大的产业。

信息化和知识经济引发的这场产业革命,将比工业革命更深刻、更广泛、更伟大,对世界经济发展格局的影响也就更深远。信息革命和知识经济,对我国来说,是一次历史性机遇,也是一次时代性挑战,我们必须以新的战略眼光为我国的发展与振兴做出贡献。

第三,计算机及其科学技术的发展,为人类科学和技术的发展增添了新的手段。

长期以来,发展科学技术主要依靠理论推导和科学实验两大传统手段。计算机自动快速的运算能力,人工智能、模拟仿真技术的发展,使得基础科学、航空航天、土木建筑、材料能源、资源勘探、气象预报、遗传工程、高能物理、核能利用等等领域的研究、设计、生产、试验等增添了新的手段,取得了重大的经济效益与社会效益。计算机化、数字化、智能化为传统的工业、农业、商业和医学等方面的改造和发展提供了新的手段,使得许多传统产业领域不断发生着新的变革,为适应信息时代的发展创造了机会。

第四,计算机的应用推广为人类创造和发展文化提供了新的工具。

文化是人类创造社会精神财富的总和,是经济基础在上层建筑的映射。计算机辅助教学及网上远程教学,不但丰富了教学内容,改革了教学方法,扩大了教学空间,而且使学生能自主探索,按需学习,提高了学习兴趣,培养了创造思维的能力,取得了传统教育难以取得的效果。以计算机为核心的电子激光照排系统的应用,使印刷出版业进入了一个崭

新的时代。电子出版物的出现,机器翻译与文字识别的发展,计算机在音乐、美术、影视和新闻等领域的应用,使得人类在整个文化领域发生了革命性的变革,拓宽了文化活动的领域,丰富了文化生活的内容,革新了制作和传播手段,提高了传播质量。

第五,计算机使人类的工作方式与生活方式发生快速的变化。

计算机、因特网进入政府机关、金融机构、企事业等部门单位,使传统的工作方式和方法发生了巨大变革。办公自动化、电子报表、电子文档、电子会议和电子商务等等成为信息化社会主要的标志,提高了办事效率和决策能力,提高了经营和管理水平。

计算机及网络进入家庭,也给家庭生活带来了巨大的变化。计算机家政事务管理、照明及家用电器的控制、门户及消防的监测、网上购物、网上医疗救助等为人们的工作生活提供了极大的方便。手提计算机与网络的结合,为实现不拘地域、不拘时间和空间的办公提供了可能。

总之,计算机、信息化、数字化将改变人类的生产方式和生活方式,它将引发一系列的新观念、新规律、新变革和新生活。

1.1.3 计算机发展简史

翻开计算机发展的历史长卷,追忆过去,珍视今天,展望未来。畅想 21 世纪更新的计算机科学技术和那异彩纷呈的计算机世界。

人类社会的发展历史,始终是伴随着计算和计算工具的产生、应用及发展的历史。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感的功能;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。

1. 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,留下的只能是事件多少的记录。因此,穴石、绳结、刻痕只是用于记数,它们就是记数的工具。

人们不能满足于对数的简单记录,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。人们发现,十指是最方便、最简单的计算工具。采用十指对数进行度量,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,以至于现今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于现代人随身携带的电子计算器。这种算筹依照一定的规则进行计算,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,用现代计算机的术语,它就是算盘的指令系统或珠算语言。对不同的计算操作,可使用该指令系统的

不同序列。

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世纪五六十年代的工科大学生所必备的计算工具。它是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,还可进行一些复杂的非四则运算。

从穴石、绳结、刻痕、十指、算筹,到算盘及计算尺,都是一种手工计算。由于人参与计算过程,故人的技能水平、精力、智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无能为力。

2. 机械计算阶段

1642年,法国人Pascal发明了可做加减法的机械计算器。1673年,德国人Leibnitz改进了Pascal的设计,增加了乘除运算。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。

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,能记住数据和要进行的操作步骤,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伟大贡献。因此,人们称Babbage为“计算机之父”。

3. 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(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。Leibnitz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发表《布尔代数》,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,也是现代一切数字式设备的理论基础。

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首次试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,飞行时间为60秒的弹道,用台式计算器计算需要20小时;即使采用新式的微分分析仪计算,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有关原子裂变的能量计算,结果令人青睐。ENIAC 为世界上第一颗原子弹的早日问世立下了汗马功劳。

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 18 000 个真空管,1500 个电子继电器,70 000 个电阻,18 000 个电容,总重 30 吨。它的性能也实在不算高:每秒 5000 次加法运算,每秒 50 次乘法运算,可进行平方、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 π 计算到小数点后 2037 位,这是人类第一次用机器计算出的最周密的数值。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 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。

4. 电子计算机时代

从 ENIAC 和 EDSAC 起,至今不过半个世纪。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,电子计算机已发展了四代。在推动计算机发展的诸因素中,电子器件的更新是计算机划时代的最重要的标志。

第一代计算机(20 世纪 40 年代中期到 50 年代末期)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。

第二代计算机(从 20 世纪 50 年代中、后期到 60 年代中期)以晶体管作逻辑元件,用磁芯作主存储器元件,引入浮点运算硬件。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。最有代表性的机器有 IBM7040、7070、7090, CDC1604 等。国产晶体管计算机的代表有 109 机、441B 机、108 机等。

第三代计算机(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,这是微电子技术 with 计算机技术相结合的一大突破。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

处理等新的技术。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、CDC6600/7600 系列、CYBER 系列等。国产机器代表有 150、151、DJS-2000 系列、DJS-1000 系列等。

第四代计算机(20 世纪 70 年代中期以来)的特点是采用大规模集成电路和超大规模集成电路。并行处理、多机系统、分布式计算、计算机网络等技术迅速发展。软件方面,各种高级语言、操作系统、数据库技术竞相争艳。更重要的是,微型计算机、个人计算机得到迅速发展。各种小型机、超级小型机、大型机、巨型机不断问世。这时期的机器类型和代表真可谓是百花齐放,异彩纷呈。计算机进入了前所未有的繁荣时代。

1.2 计算机系统组成

电子计算机是怎样构成的? 又是怎样工作的? 电子计算机虽类型档次多,功能差别大,但它们的基本结构却是类似的。一个完整的计算机系统均由硬件系统和软件系统两部分构成。

1.2.1 存储程序原理

现代电子计算机的组成原理均是依据美籍匈牙利数学家冯·诺依曼等发表的题为《关于电子计算装置逻辑结构初探》报告中所阐述的思想构建的。在此报告中,冯·诺依曼提出了以二进制和存储程序控制为核心的通用电子数字计算机体系结构原理,从而奠定了当代电子计算机体系结构的基础。因此,现在我们通常称这类按照存储程序控制原理构建的计算机为“存储程序计算机”。

关于二进制无需赘述,那么什么是存储程序控制原理呢? 存储程序控制原理的基本思想是:计算机要自动完成解题任务,必须将事先设计好、用以描述计算机解题过程的程序如同数据一样,采用二进制形式存储在机器中,计算机在工作时自动高速地从机器中逐条取出指令并加以执行。存储程序控制是计算机能自动工作的关键所在。计算机不同于计算器,其根本差别在于前者的解题步骤即程序是在机器外由人工干预和控制的。

按照存储程序控制原理,计算机必须具有五大功能,如图 1.1 所示。

1. 数据传送功能

计算机必须有能力将原始数据和解题程序输入到机器中,而计算的结果和计算过程中出现的情况也能随时输出给用户。这就是说,计算机必须具有输入和输出功能。

2. 数据存储功能

计算机应能“记住”人所提供的原始数据和解题步骤即程序,以及解题过程中的一些中间结果,即具备数据存储功能,这是计算机能实现自动运算的关键。

3. 数据处理功能

计算机应能进行一些最基本的算术运算和逻辑运算,从而组合成人类所需要的一切复杂的运算和处理。这是计算机进行运算、处理、控制的基础。

4. 操作控制功能

计算机应能保证程序执行的正确性,应能对组成计算机的各部件进行协调和控制。

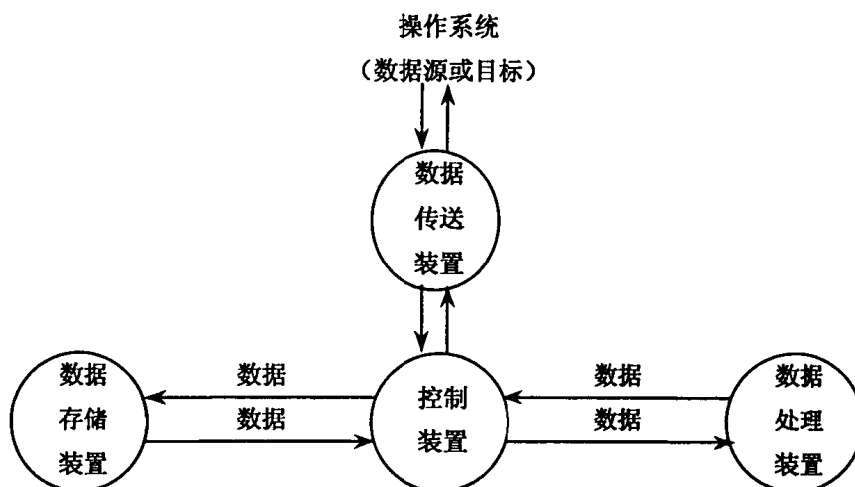


图 1.1 计算机功能描述

5. 操作判断功能

在完成一步操作后,计算机应能从预先无法确定的几种方案中选择一种方案,从而保证解题操作正确完成。

总之,数据传送、数据存储、数据处理、操作控制和操作判断这五大功能是电子计算机必不可少的。虽然计算机的运算处理能力愈来愈强,计算机的种类愈来愈多,但现代计算机,即存储程序计算机的基本功能却都是类似或相同的。

1.2.2 计算机硬件系统

硬件(Hardware)是组成电子计算机的所有电子器件和机电装置的总称。硬件是构成计算机的物质基础,是计算机系统的核心。现代电子计算机均遵照存储程序计算机体系结构。根据存储程序计算机的五大功能,计算机硬件系统均由运算器、控制器、存储器、输入设备、输出设备以及将它们联结为有机整体的总线构成,如图 1.2 所示。

1. 运算器

运算器(Arithmetic Unit)是进行数据处理即执行算术运算和逻辑运算的部件。算术运算是指按照算术规则进行的运算,如加、减、乘、除及它们的复合运算。逻辑运算指非算术性运算,如比较、移位、逻辑加、逻辑乘、逻辑非及异或操作等。

运算器通常由算术逻辑单元 ALU(Arithmetic and Logic Unit)和一系列寄存器组成,如图 1.3 所示。ALU 是具体完成算术逻辑运算的部件,由加法器及其他逻辑运算器件组成,它是运算器的核心。寄存器用于存放参与运算的操作数。累加器除存放操作数外,在连续运算中,还用于存放中间结果和最终结果,因具有“累加”的功能,故称之为累加器(Accumulator)。寄存器和累加器的数据均从存储器中取得,累加器的最后结果也存放存储器中。

2. 存储器

电子计算机的特点之一是具有存储记忆的功能。因此,理所当然要有存储信息的装