



计算机系统结构系列教材

# 计算机原理 与设计

王保恒 肖晓强 张春元 文梅 编



高等教育出版社

## 内容提要

本书从计算机部件及其行为层次角度系统地阐述了电子数字计算机的结构组成、逻辑功能、工作原理和实现方法。全书共7章,内容包括:计算机基本组成和工作原理,指令系统与amp;设计,运算方法与运算器,控制器设计技术,存储器与存储器设计,输入输出控制方式以及计算机互连结构等。

本书取材较新,同时保留了经典计算机组成与设计的相关知识。本书采用实例教学的组织方式,内容由浅入深、相互联系。书中给出了大量的设计实例、例题和习题便于学习。

本书可作为高等院校计算机类、电子类和自动化类等相关专业的教材和参考书,也可供相关专业工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

计算机原理与设计/王保恒等编. —北京:高等教育出版社,2005.1

(计算机系统结构系列教材)

ISBN 7-04-016214-8

I. 计... II. 王... III. 电子计算机-基础理论-高等学校-教材 IV. TP301

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第002068号

策划编辑 刘建元 责任编辑 付欣 市场策划 陈振  
封面设计 李卫青 责任印制 杨明

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街4号  
邮政编码 100011  
总 机 010-58581000

购书热线 010-58581118  
免费咨询 800-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landaco.com>  
<http://www.landaco.com.cn>

经 销 北京蓝色畅想图书发行有限公司  
印 刷 北京宏伟双华印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16  
印 张 26.75  
字 数 550 000

版 次 2005年1月第1版  
印 次 2005年1月第1次印刷  
定 价 33.20元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号:16214-00

# 前 言

计算机原理是计算机学科各专业必修的一门重要的专业基础课,它以计算机单机系统为研究对象,从计算机部件及其行为层次角度阐述电子数字计算机的结构组成、逻辑功能、工作原理和实现方法。

本书作为计算机系统结构系列教材中的一本,全书共7章。第一章重点介绍冯·诺依曼计算机的基本结构、各部件组成和工作流程。第二章阐述计算机的指令系统,包括数据表示、指令类型与指令格式以及寻址方式等内容。第三章讨论计算机的运算器及运算方法,重点介绍定点四则运算的运算方法和运算器以及浮点的运算方法。第四章通过简单的8位实例计算机的设计,介绍组合逻辑和微程序两种控制器的基本组成部件、设计步骤与方法以及设计的实现问题。第五章阐述各种物理存储器的基本组成与工作原理,讨论内存存储器的设计和并行主存技术。第六章简单介绍I/O设备,阐述I/O控制和I/O子系统的基本概念,重点介绍程序查询、程序中断、DMA以及I/O通道四种I/O控制方式的硬件组成、工作原理和工作过程。第七章简介计算机的模块及各种互连结构,重点讨论总线的基本组成、基本工作原理、结构及其设计问题,最后介绍总线标准及实例——PCI总线。

本书具有如下特色:

1. 既注重计算机的基本概念、基本组成和基本工作原理,又兼顾它的逻辑设计。除对计算机的各大基本部件的组成原理及其相互关系进行了详尽的描述外,还给出了控制器、内存储器设计实例,提供了多种运算方法对应运算器的逻辑结构图。

2. 为适应学科发展,保留经典而又传统计算机的内容及其描述方式,淘汰陈旧内容和烦琐电路,补充了如快擦写存储器、多种DMA传送接口及PCI总线等新技术和新器件,并把重点放在逻辑器件(芯片)的外特性及其使用和逻辑实现上。

3. 书中列举大量的实例和例题以方便读者理解,尤其是第四章实例计算机的设计,将计算机指令系统、运算器、控制器等部件形成了一个有机整体,便于读者从整体上了解计算机和把握计算机的工作过程。每章后都附有相当数量的习题,通过回答和演算习题,可帮助读者理解和掌握所学知识。

4. 本书按照运算器、控制器、存储器、输入和输出设备的顺序分别介绍计算机各大硬件的基本组成部件,但各章之间并不是相互独立的,在介绍每种部件时都注意说明与其他各章的联系。例如第四章的控制器设计中就用到了第二章介绍的指令系统的内容,第三章运算器的组织就利用了第七章总线系统的相关知识等。

本书第一章由王保恒、肖晓强编写,第二章由文梅编写,第三章和第七章由肖晓强编写,

第四章由张春元、肖晓强、文梅编写,第五章和第六章由王保恒编写,全书由王保恒负责统编和定稿。在成书的过程中,国防科学技术大学计算机学院王凤学教授仔细阅读了全书,并提出了许多具体的修改意见,特在此表示感谢。南开大学陆志才教授审阅了本书,提出了宝贵的意见,编者据此进行了修改,并表示诚挚的谢意。本书得到了国防科学技术大学计算机学院、计算机科学与技术系领导和专家的关心和帮助,在此一并致谢。

本书适合作为高等学校本科计算机类、电子类和自动化类等相关专业教材和参考书,参考授课学时数为72学时。本书也可供从事计算机工作的工程技术人员参考。

虽然编者在成书前对书稿进行了多次校正,但由于水平和经验有限,疏忽之处在所难免,恳请专家和读者批评指正。

编 者

2004年10月

# 目 录

第一章 绪论 .....	(1)	2.2.3 地址码结构 .....	(45)
引言 .....	(1)	2.3 寻址技术 .....	(47)
1.1 计算机的发展史 .....	(1)	2.3.1 基本寻址方式 .....	(47)
1.1.1 计算简史 .....	(1)	2.3.2 复合寻址方式 .....	(53)
1.1.2 计算机发展简史 .....	(3)	2.4 基本指令和指令类型 .....	(53)
1.2 计算机系统组成 .....	(4)	2.4.1 数据传送指令 .....	(53)
1.2.1 存储程序原理 .....	(4)	2.4.2 算术逻辑运算指令 .....	(54)
1.2.2 计算机系统的组成 .....	(5)	2.4.3 数据转换指令 .....	(55)
1.2.3 计算机硬件系统组成 .....	(6)	2.4.4 程序控制指令 .....	(55)
1.3 计算机的工作过程 .....	(11)	2.4.5 输入/输出指令 .....	(59)
1.3.1 使用计算机求解的一个 简单例子 .....	(11)	2.4.6 系统控制指令 .....	(60)
1.3.2 指令执行过程 .....	(13)	2.5 指令系统的分类 .....	(60)
1.3.3 计算机工作的过程 .....	(15)	2.6 指令系统设计与实例 .....	(62)
1.4 计算机的性能指标和分类 .....	(16)	2.6.1 指令系统设计的基本要求 .....	(62)
1.4.1 计算机的性能指标 .....	(16)	2.6.2 CISC 和 RISC .....	(63)
1.4.2 计算机的分类 .....	(18)	2.6.3 指令系统实例 .....	(64)
1.5 计算机应用与发展 .....	(20)	小结 .....	(74)
1.5.1 计算机的应用 .....	(20)	习题 .....	(75)
1.5.2 计算机发展前景 .....	(22)	第三章 运算方法与运算器 .....	(77)
小结 .....	(24)	引言 .....	(77)
习题 .....	(24)	3.1 基本运算 .....	(77)
第二章 指令系统 .....	(26)	3.1.1 逻辑运算 .....	(78)
引言 .....	(26)	3.1.2 移位运算 .....	(81)
2.1 数据表示 .....	(27)	3.1.3 算术运算 .....	(86)
2.1.1 数值数据的数据表示 .....	(27)	3.2 定点加(减)法运算 .....	(88)
2.1.2 字符的数据表示 .....	(34)	3.2.1 二进制加(减)法运算 .....	(88)
2.1.3 堆栈数据表示 .....	(36)	3.2.2 二进制补码加法器 .....	(92)
2.1.4 向量数据表示 .....	(38)	3.2.3 多功能算术逻辑运算 单元 ALU .....	(96)
2.1.5 数据表示小结 .....	(42)	3.2.4 十进制加法器 .....	(101)
2.2 指令格式 .....	(42)	3.3 定点乘法运算 .....	(104)
2.2.1 指令长度 .....	(43)	3.3.1 原码一位乘法 .....	(104)
2.2.2 操作码结构 .....	(44)	3.3.2 补码一位乘法 .....	(109)

3.3.3 快速乘法 .....	(115)	4.5.2 微指令顺序控制 .....	(214)
3.4 定点除法运算 .....	(126)	4.6 微指令时序控制 .....	(219)
3.4.1 原码一位除法 .....	(126)	4.6.1 微指令周期 .....	(220)
3.4.2 补码一位除法 .....	(131)	4.6.2 微指令周期多相控制 .....	(220)
3.4.3 快速除法 .....	(140)	小结 .....	(221)
3.5 浮点运算方法 .....	(144)	习题 .....	(221)
3.5.1 浮点加(减)运算 .....	(144)	<b>第五章 存储器</b> .....	(223)
3.5.2 浮点乘法运算 .....	(147)	引言 .....	(223)
3.5.3 浮点除法运算 .....	(151)	5.1 存储器概论 .....	(224)
3.6 运算器组织 .....	(153)	5.1.1 存储器的分类 .....	(224)
3.6.1 运算器的基本结构 .....	(153)	5.1.2 内存的主要技术指标 .....	(228)
3.6.2 运算器组成实例 .....	(157)	5.2 内存存储器的工作原理 .....	(229)
3.6.3 位片式运算器 .....	(159)	5.2.1 内存存储器的基本组成及工作 过程 .....	(230)
3.6.4 浮点运算器 .....	(160)	5.2.2 随机存取存储器 RAM .....	(233)
小结 .....	(163)	5.2.3 RAM 存储芯片 .....	(237)
习题 .....	(163)	5.2.4 只读存储器 ROM .....	(247)
<b>第四章 控制器</b> .....	(166)	5.3 按内容寻址存储器 CAM .....	(259)
引言 .....	(166)	5.3.1 概述 .....	(259)
4.1 指令结构 .....	(167)	5.3.2 CAM 存储位元电路 .....	(260)
4.1.1 实例计算机的指令系统 .....	(168)	5.3.3 CAM .....	(261)
4.1.2 实例计算机指令的含义 .....	(169)	5.4 内存存储器的设计 .....	(263)
4.2 控制器的基本设计技术 .....	(172)	5.4.1 设计内存存储器的一般原则和 方法 .....	(263)
4.2.1 控制器的基本组织 .....	(172)	5.4.2 内存存储器的逻辑设计 .....	(264)
4.2.2 基本控制器的设计 .....	(175)	5.4.3 内存存储器逻辑设计举例 .....	(267)
4.3 指令流控制和复杂指令的设计 .....	(187)	5.4.4 DRAM 刷新 .....	(275)
4.3.1 计算机指令流的控制 .....	(187)	5.5 磁表面存储器 .....	(279)
4.3.2 局部控制周期技术 .....	(191)	5.5.1 磁记录原理 .....	(279)
4.3.3 微操作控制信号组合逻辑网络的 实现 .....	(195)	5.5.2 磁表面存储器的主要技术 指标 .....	(283)
4.3.4 组合逻辑控制器的设计 过程 .....	(197)	5.5.3 磁盘存储器 .....	(287)
4.4 微程序控制器技术 .....	(200)	5.6 光盘存储器 .....	(297)
4.4.1 微程序控制基本原理 .....	(200)	5.6.1 光盘记录介质 .....	(297)
4.4.2 Wilkes 模型 .....	(201)	5.6.2 光盘分类 .....	(298)
4.4.3 实例计算机的微程序实现 .....	(205)	5.6.3 光盘读写原理 .....	(300)
4.5 微程序的技术问题 .....	(209)	5.7 计算机的存储系统 .....	(303)
4.5.1 微命令控制信号编码与微指令 格式 .....	(210)	5.7.1 并行主存系统 .....	(303)

5.7.2 存储系统及其层次结构 .....	(307)	6.6.2 通道命令字和通道程序 .....	(366)
小结 .....	(310)	6.6.3 通道传送的工作过程 .....	(370)
习题 .....	(310)	小结 .....	(371)
<b>第六章 输入/输出(I/O)控制</b> .....	<b>(314)</b>	习题 .....	(371)
引言 .....	(314)	<b>第七章 计算机模块结构与互连</b> .....	<b>(373)</b>
6.1 外围设备简介 .....	(314)	引言 .....	(373)
6.1.1 外设分类 .....	(314)	7.1 模块结构与互连 .....	(373)
6.1.2 外设的地位与作用 .....	(316)	7.1.1 计算机的模块结构 .....	(373)
6.1.3 外设与主机的连接方式 .....	(317)	7.1.2 常见互连结构 .....	(374)
6.2 I/O 控制的有关问题 .....	(317)	7.2 总线系统概述 .....	(375)
6.2.1 I/O 设备与 I/O 操作特点 .....	(318)	7.2.1 总线的基本组成 .....	(376)
6.2.2 四级 I/O 子系统和三级 I/O 子 系统 .....	(319)	7.2.2 总线系统的基本工作原理 .....	(377)
6.2.3 I/O 控制的类型 .....	(320)	7.2.3 总线的分类 .....	(378)
6.2.4 I/O 接口 .....	(321)	7.2.4 总线的特点和性能 .....	(379)
6.2.5 I/O 指令 .....	(325)	7.3 总线系统的结构 .....	(380)
6.3 程序直接控制传送 .....	(327)	7.3.1 总线设备 .....	(380)
6.3.1 无条件传送方式 .....	(327)	7.3.2 总线设备接口 .....	(381)
6.3.2 程序查询传送方式 .....	(327)	7.3.3 总线控制器 .....	(382)
6.4 中断及程序中中断控制传送 .....	(330)	7.3.4 总线的连接方式 .....	(383)
6.4.1 中断的有关问题 .....	(330)	7.4 总线设计要素 .....	(386)
6.4.2 中断系统的结构组成 .....	(333)	7.4.1 总线宽度 .....	(386)
6.4.3 程序中中断控制传送及其 接口 .....	(342)	7.4.2 总线的复用方式 .....	(387)
6.4.4 可编程中断控制器 8259A 简介 .....	(346)	7.4.3 总线定时方式 .....	(388)
6.5 直接存储器访问 DMA .....	(349)	7.4.4 总线仲裁 .....	(392)
6.5.1 DMA 概述 .....	(350)	7.4.5 总线数据传送方式 .....	(399)
6.5.2 DMA 接口的基本组成 .....	(352)	7.5 PCI 总线标准 .....	(404)
6.5.3 DMA 的工作过程 .....	(354)	7.5.1 PCI 总线概述 .....	(404)
6.5.4 DMA 传送接口类型 .....	(356)	7.5.2 PCI 总线信号 .....	(406)
6.5.5 DMA 传送举例 .....	(359)	7.5.3 PCI 总线命令 .....	(409)
6.6 I/O 通道 .....	(361)	7.5.4 PCI 总线仲裁 .....	(410)
6.6.1 I/O 通道概述 .....	(361)	7.5.5 PCI 总线数据传送方式 .....	(412)
		小结 .....	(414)
		习题 .....	(415)
		<b>参考文献</b> .....	<b>(416)</b>

# 第一章 绪 论

## 引 言

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。电脑就是计算机,计算机是信息加工和处理的工具,它具有运算速度快、运算精度高、记忆功能强、通用性广等特点,能够自动地完成各种复杂的计算。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。

作为计算机专业的学生和热衷于探寻计算机奥秘的读者,自然会有这样的疑问,计算机到底是如何构成和怎样工作的?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,本章将介绍:计算机发展史、计算机系统组成、计算机的工作过程、计算机的性能指标及分类、以及计算机的应用与发展,使读者对计算机先有一个大体了解,并为后续章节的学习奠定基础。

## 1.1 计算机的发展史

### 1.1.1 计算简史

人类社会的发展历史,始终是伴随着计算工具的产生、应用及发展的历史。人类通过劳动和智慧创造了工具,包括机械工具、测试工具和计算工具。人们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官的功能;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,而计算则经历了从手工计算阶段、机械计算阶段,一直发展到现今的电子计算阶段。

#### 1. 手工计算阶段

远古时代,人类只能通过穴石、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、刻痕只能用于记数,它们是记数工具。

在与自然界的斗争中,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。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。

据史料记载,中国在公元前5~6世纪就已经出现了算盘,这是人类应用时间最长、功能最完善的非自然化计算工具。人们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、东南亚,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50~60年代的工科大学生所必备的计算工具。它用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,手工计算对许多大型复杂问题的计算往往显得无能为力。

## 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。

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。Babbage在他的后半生花费了大部分精力和财力来制造这台计算机,可惜的是,由于当时技术的限制,这台计算机未能制造出来。Babbage认为自动计算机必须具有输入、输出、处理、存储、控制五大功能。另外,他还提出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。这些思想的确是对现代电子数字计算机的伟大贡献。因此,人们称Babbage为“计算机之父”。

机械式计算工具虽然在这一时期取得了较大的成功,但仍要由人按照一定的步骤进行操作。从提供操作数,到选择操作,得到计算结果,整个过程中频繁的人工干预限制了计算速度的提高。

## 3. 电子计算阶段

电子计算的理论基础是二进制。中国是二进制理论的最早发明者。古人使用的符号为“爻(yáo)”,爻分阳爻和阴爻,可以说阳爻对应二进制中的1,阴爻对应二进制中的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曾致信清朝康熙

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 发表了《逻辑的数学分析》和《思维规律的研究》两部著作。两部著作的核心,就是现代的《布尔代数》的精髓。它把运算和逻辑理论建立在“0”和“1”两种数值以及“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,也是现代所有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 的协助下制造出了一台电子管计算机 ABC (Atanasoff Berry Computer)。

1943年,美军缴获了德军著名的 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60s的弹道,用台式计算器计算需要20小时;即使采用当时新式的微分分析仪计算,也需要20分钟。为了提高计算速度,减少计算时间,美军军械部求助于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。1945年春天,世界上第一台电子数字计算机 (Electronic Numerical Integrator and Computer, ENIAC) 开始试运行。用这台机器计算弹道参数,60s射程的弹道计算,由原来的20分钟缩短为30s!

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18000个真空管,1500个电子继电器,70000个电阻,18000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。

除了常规的弹道计算外,ENIAC 的工作还涉及到天气预报、原子核能、风洞实验等诸多领域。著名数学家冯·诺依曼 (Von. Neumann) 邀请了研制原子弹的学者在这台机器上进行了有关原子裂变的能量计算,可以说 ENIAC 为世界上第一颗原子弹的早日问世立下了汗马功劳。1949年,ENIAC 经过70小时的计算,将圆周率计算到小数点后2037位,这是人类第一次用机器计算出来的最精确的圆周率数值。

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 是一个划时代的创举,它成为现代电子数字计算机的始祖。1949年,英国剑桥大学开发的 EDSAC (Electronic Delay Storage Automatic Computer) 是世界上第一台通用电子数字计算机。从此,人类开始进入了电子计算的电子数字计算机时代。

### 1.1.2 计算机发展简史

从 ENIAC 算起,计算机的发展至今不过半个多世纪。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,国际公认的计算机发展经历了四代。在推动计算机发展的诸因素中,电子器件是划分时代最重要的标志。

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、磁带和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,具有代表性的机器还有以冯·诺依曼为首研制的存储程序计算机IAS、UNIVAC-1和IBM 704,以及我国自己研制的第一代计算机,主要104机、103机和119机等。

第二代计算机(20世纪50年代中、后期到60年代中期):以晶体管作为逻辑元件,磁芯作为主存储器元件,引入浮点运算硬件;建立了子程序库和批处理的管理程序;配备了FORTRAN、COBOL和ALGOL等高级语言,从而大大简化了程序设计。晶体管计算机体积小,功耗低,速度快,可靠性高。具有代表性的机器有IBM 7040、7070、7090,CDC 1604等。国产晶体管计算机的代表有109机、441B机和108机等。

第三代计算机(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;引进了多道程序和并行处理等新的技术,操作系统日趋成熟。具有代表性的机器有IBM 360系列、CDC 6600/7600系列和CYBER系列等。国产机器代表有150、151、DJS-2000系列和DJS-1000系列等。

第四代计算机(20世纪70年代中期至今):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、分布式计算机、计算机网络等技术迅速发展;各种高级语言、分布式操作系统、数据库技术竞相争艳。更重要的是微处理机、微型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。计算机进入了空前繁荣的时代。

## 1.2 计算机系统组成

### 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·诺依曼提出了以存储程序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。通常,按照存储程序原理构建的计算机被称为“存储程序计算机”。

存储程序原理的基本思想是: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(程序即指令的有序集合),和数据一样,采用二进制形式存储在机

器内部,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。存储程序是计算机能自动工作的关键所在。计算机不同于计算器之处在于,计算器的解题步骤即程序是在执行过程中由人工临时编制和控制执行的。

按照存储程序原理,计算机必须具有五大功能:

(1) 数据传送功能。计算机必须有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。这也就是说,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”输入的原始数据和解题步骤即程序,以及解题过程中产生的一些中间结果,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运算,从而组合成人类所需要的一切复杂的运算和操作。这是计算机进行运算、处理和控制的基础。

(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。

(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。

虽然计算机种类繁多,运算处理能力有强有弱,但作为计算机,它们的基本功能却都是类似和相同的。即存储程序计算机都应当具有数据传送、数据存储、数据处理、操作控制和操作判断这五大功能。

经典的“存储程序计算机”,即经典冯·诺依曼结构计算机框图如图 1.1 所示。图中实线为数据线,虚线为控制线和反馈线。

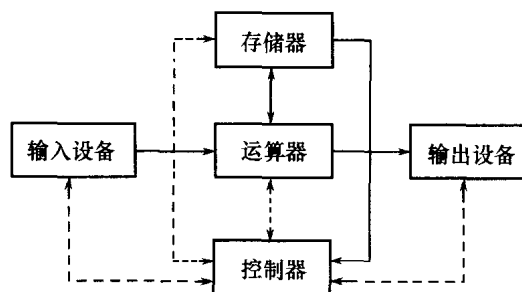


图 1.1 经典冯·诺依曼计算机框图

## 1.2.2 计算机系统的组成

虽然计算机类型档次多,功能差别大,但它们的基本结构却是类似的。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. 计算机的硬件系统

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。它是计算机系统中实际存在的物理实体,是看得见摸得着的。从物理构成上看,硬件系统是由电子器件、插件板、电源、机架和各种功能的外部设备组成。从逻辑功能上看,硬件系统是由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备以及它们之间的互连结构组成。

### 2. 计算机的软件系统

软件(Software)系统是相对于硬件系统而言的,它是看不见摸不着的。要使用计算机,

就必须编制程序,必须有软件。按照国际标准化组织(ISO)的定义,软件是电子计算机程序及运用数据处理系统所必需的手续、规则和文件的总称。因此,一般认为软件是由程序与文档两部分组成。程序(Program)是为了取得一定的结果而编写的计算机指令的有序集合;文档(Document)则是描述程序操作及使用的有关资料。程序可由计算机执行,而文档则不能由计算机执行。程序是计算机软件的主体,故一般说到软件,主要是指程序。

### 3. 计算机软件系统和硬件系统的关系

软件作为计算机用户与硬件之间的接口界面,在计算机系统中起指挥管理作用。硬件与软件的组合构成了完善实用的计算机系统。硬件是躯体,是物质基础;软件是智慧,是灵魂,是硬件功能的完善与扩充。没有硬件,或者没有良好的硬件,就无从谈起运行软件,也无法计算、处理某一方面的问题。没有软件,或者没有优秀的软件,计算机就是一个空壳,根本无法工作,或者不能高效率地工作。因此,硬件与软件是相互渗透,相互依存,互相配合,互相促进的关系,二者缺一不可。

应当指出的是,计算机系统的功能由硬件或软件实现,软件和硬件在逻辑功能上是等价的。也就是说,用硬件实现的功能,在原理上可以用软件实现;同样,用软件实现的功能,在原理上也可由硬件完成。例如,完成乘法运算,既可用硬件乘法器实现,也可用乘法子程序实现。软硬件功能究竟怎样分配,这涉及到系统的成本和速度等诸多问题。由硬件或软件实现的计算机系统的成本、效率等是不同的,一般在系统设计时应加以权衡。

计算机系统的软件与硬件可互相转化,随着超大规模集成电路技术的发展,软件硬化或固化已经是提高计算机处理能力的最常用手段。例如,将本来由编译器来识别的指令之间并行性这个功能由硬件完成,就实现了现代计算机的指令动态调度功能。在单片机中,将程序(如 BASIC 解释程序)固化在只读存储器 ROM 中,装入机器,就可以随用随取。这种将程序固化在 ROM 中组成的部件称为固件(Firmware)。固件是一种具有软件特性的硬件,既具有硬件的快速性,又具有软件的灵活性。

### 1.2.3 计算机硬件系统组成

硬件系统是构成计算机的物质基础,是计算机系统的核心。根据存储程序计算机的五大功能,计算机硬件系统由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备以及将它们连为有机整体的互连结构组成。图 1.1 表示的是早期经典的冯·诺依曼计算机结构,它以运算器为中心。由于输入/输出设备速度慢,并且传输操作都需通过运算器,导致计算机效率不高。现代计算机结构已转化为以存储器为中心,如图 1.2 所示。

由于运算器、控制器在逻辑关系上联系紧密,尤其在大规模集成电路出现后,两部件又制作在同一芯片上,故将它们统称为中央处理器(Central Processing Unit, CPU)。存储器用来存储二进制信息,通常粗分为两大类。一类称为内存存储器,又称为主存储器,它的存取速度快,存储容量较小,与 CPU 直接打交道,由半导体元器件构成;另一类为外存储器,亦称辅

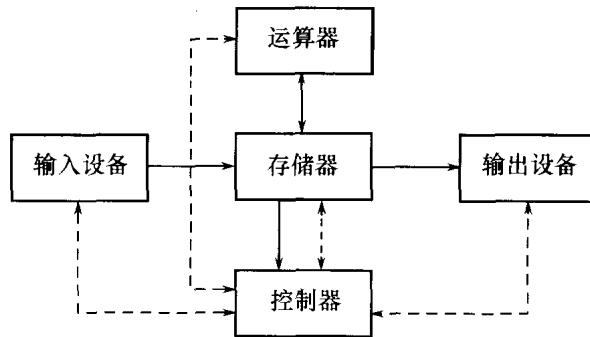


图 1.2 现代计算机结构框图

助存储器,如磁盘、磁带和光盘等,它的存取速度慢,存储容量较大;但不能与 CPU 直接打交道,必须将其中的信息送到内存后才能由 CPU 处理。图 1.2 中的存储器指的是内存储器。CPU、内存储器合起来又称主机。输入/输出设备和外存储器又被统称为外部设备。下面分别介绍这些部件的组成。

### 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。算术运算指的是按照算术规则进行的运算,如加、减、乘、除及它们的复合运算等。逻辑运算指的是非算术性运算,如比较、移位、逻辑加、逻辑乘以及异或操作等。带输入锁存器的运算器由算术逻辑单元、内部总线、通用寄存器组、锁存器、标志寄存器和移位器组成,如图 1.3 所示。

(1) 算术逻辑单元(Arithmetic and Logic Unit, ALU): ALU 是具体完成算术逻辑运算的部件,由加法器及逻辑运算器件组成,它是运算器的核心。

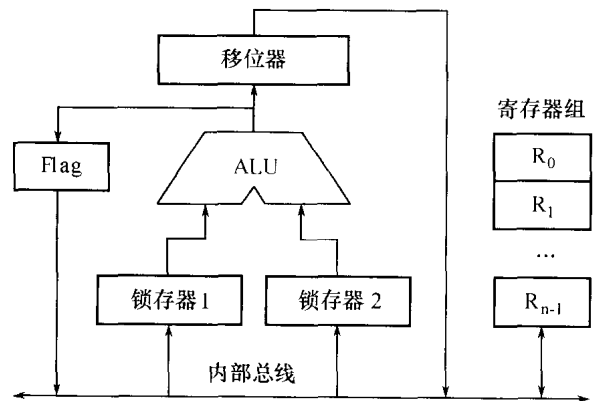


图 1.3 带输入锁存器的运算器示意图

(2) 内部总线: ALU、通用寄存器组、锁存器、标志寄存器 Flag 和移位器均通过它进行连接,它是 CPU 内部的数据通路。与系统总线不同,内部总线仅用来传送数据。

(3) 通用寄存器组  $R_0 \sim R_{n-1}$ : 用于存放参与运算的操作数,如:加数、减数、乘数、被除数、积或者商等。在连续运算中,还用于存放中间结果和最终结果。通用寄存器中的数据均从存储器中取得,最终结果也要存放存储器中。

(4) 锁存器: ALU 的两个输入端各有一个锁存器,用来暂存要参与运算的操作数。如要实现  $R_0 \leftarrow (R_0) + (R_2)$ , 可通过内部总线先将  $R_0$  中的数据送入锁存器 1, 再通过内部总线将

R<sub>2</sub> 中的数据送入锁存器 2, 然后再在 ALU 中相加, 最后将结果通过内部总线送入 R<sub>0</sub>。

(5) 标志寄存器 Flag: 寄存运算的状态信息, 例如结果是否为“0”、是正数还是负数、溢出与否等。

(6) 移位器: 是一个多路开关, 可对 ALU 的加工结果再进行辅助操作, 例如可实现左移、右移和直接传送等功能。

除带输入锁存器的运算器外, 还有带多路选择器的运算器, 它们的基本组成相同, 主要区别是通用寄存器与 ALU 的连接方式不同。关于运算器的详细内容将在第三章中介绍。

## 2. 控制器

控制器 (Control Unit) 是计算机的管理机构和指挥中心, 它协调计算机的各部件自动地工作。控制器完成的工作实质上就是解释程序, 它每次从存储器中读取一条指令, 经过分析译码, 产生一系列的控制信号, 发往各个部件以控制它们的操作。连续不断、有条不紊地继续上述动作, 即所谓执行程序。

计算机有两种类型的控制器, 即组合逻辑控制器和微程序控制器。组合逻辑控制器的结构主要由指令控制部件、地址形成部件、定时部件及微操作控制部件组成, 如图 1.4 所示。

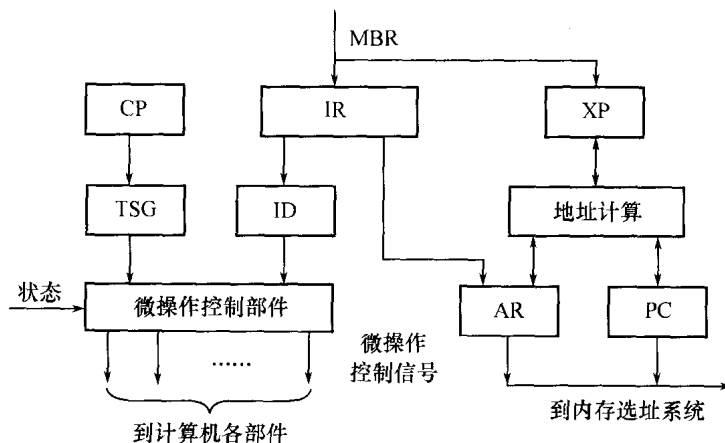


图 1.4 控制器的组成

(1) 指令控制部件: 由程序计数器 (Program Counter, PC)、指令寄存器 (Instruction Register, IR) 和指令译码器 (Instruction Decoder, ID) 组成。

程序计数器 PC 又叫指令计数器。它给出程序中指令在存储器中的单元地址。它兼有指令地址寄存器和计数器的功能。取指令时, PC 指向要取指令的地址。当一条指令执行完毕时, PC 作为指令地址寄存器, 其内容已变成下一条指令的地址。控制器依据 PC 的内容从存储器取出指令送到 IR 后, PC 将自动加 1, 指向下一条指令的地址。注意, 这里假定一个存储单元存储一条指令。若非顺序执行, 只要将 PC 内容作相应改变, 就可按新的序列顺序执行。指令寄存器 IR 保存当前正在执行的指令代码, 在指令执行过程中由它决定指令的操作

性质及参与操作的操作数地址等。ID 也叫操作码译码器,它将指令的操作码转换为相应的控制电位信号,指示各部件做什么操作。

(2) 地址形成部件:包括地址寄存器(Address Register, AR)、变址寄存器(Index Register, XR)和地址计算部件。其功能主要是依据指令的寻址方式和指令的地址码部分生成实际的操作数地址。

(3) 定时部件:亦称时序部件,由时钟(Clock Pulses, CP)和时序信号产生器(Timing Signal Generator, TSG)组成。CP 是协调计算机各部件进行操作的同步时钟,其工作频率称为计算机的主频。主频的高低直接影响计算机的工作速度。TSG 的功能是按时间顺序,周而复始地发出若干节拍信号和脉冲。节拍即相邻两个时钟脉冲的时间间隔,即主频周期。定时部件就是根据机器的时钟脉冲,发出全机所需的定时节拍信号和脉冲。各部件在不同的节拍信号控制下依次进行工作。

(4) 微操作控制部件:微操作(Micro-operation)是指计算机各部件在一个节拍内能完成的基本操作。计算机任意一条指令的执行都需分解成许多微操作来执行。微操作控制部件是控制器的核心部件,也是控制器中最复杂的部件。它根据指令控制部件给出的指令译码电位信号(进行什么操作)、时序部件给出的节拍信号和脉冲(指令执行到哪一步)和运算器 Flag 提供的状态信息,产生计算机指令系统中所有指令所需的各种微操作控制信号。然后再将这些控制信号发送给运算器、存储器、输入/输出设备以及控制器本身。

微程序控制器除了将微操作控制部件用微程序库代替外,其他部件和组合逻辑控制器相似。有关控制器的详细内容将在第四章中介绍。

### 3. 内存储器

电子计算机的特点之一是具有存储记忆功能,理所当然应该有存储信息的装置——存储器(memory/storage)。存储器的主要功能是存放数据和程序。程序是计算机指令的有序集合,数据是计算机操作的对象,它们均以二进制的形式表示。为了实现自动运行程序,数据和程序必须存放在内存储器中。内存储器由存储体、选址系统、读写系统和存储时序控制线路构成,如图 1.5 所示。

(1) 存储体:存储体就像一个庞大的仓库,它被分成一个一个的存储单元,每个存储单元存放多位二进制信息。信息的位数通常是计算机的字长,一般字长为字节的整数倍。通常每个单元存放一个数据或一条指令。存储单元的集合称之为存储体。存储单元按顺序编号,每个存储单元对应一个编号,此编号称为存储单元地址,简称地址。只要给定一个地址,就可通过地址译码器译码,找到对应的存储单元,从而可从该单元读取信息,或将信息写入该单元。注意,地址与存储单元是一一对应的,每个存储单元只有一个地址。

(2) 选址系统(Addressing System):由存储地址寄存器(Memory Address Register, MAR)、地址译码器和地址驱动器三部分组成。CPU 或 I/O 与内存储器交换信息是以存储单元为单位的。向存储单元存入或从存储单元取出信息,称之为访问存储器。I/O 或 CPU 访



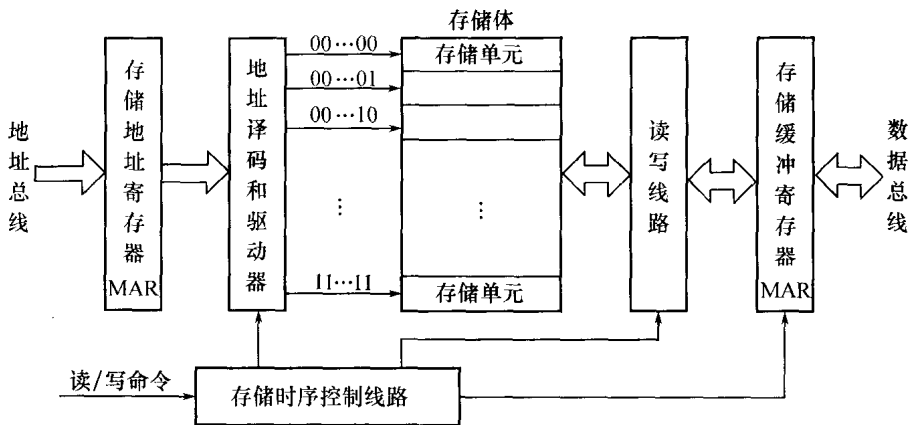


图 1.5 内存储器构成

存时,先将访存地址送 MAR,经地址译码器找到被访问的存储单元,最后由地址驱动器驱动该存储单元以实现读或写。

(3) 读写系统(Read and Write System):包括存储缓冲寄存器(Memory Buffer Register, MBR)和读写线路。读出时,控制器发出读控制信号,借助于读出线路将由选址系统确定的存储单元内容读出送至 MBR,以供 I/O 或 CPU 使用。写入时,先将要写入的数据送至 MBR,控制器发出写控制信号,借助于写入线路,将 MBR 内容写入由选址系统确定的存储单元。

(4) 存储时序控制线路(Memory Sequential Control Circuit):由控制触发器,各种门电路和延迟线路等组成。接收来自 I/O 或 CPU 的启动、读写、清除等命令,产生一系列控制内存存储器完成读写等操作的信号。

关于存储器的详细内容将在第五章中介绍。

#### 4. 输入设备和输出设备

输入设备(Input Equipment/Device):其作用是将数据、程序送入计算机。常见的输入设备有键盘、鼠标、数字化仪和扫描仪和摄像机等。它们多是电子和机电混合的装置,与运算器、控制器和内存存储器等纯电子部件相比,速度较慢。因此,一般需通过被称之为接口(Interface)的电子部件与运算器、控制器和存储器相连接。

与输入设备正好相反,输出设备(Output Equipment/Device)是将计算处理的结果转化为人或其他设备所能识别或接收的信息形式的装置。例如,显示器能将信息转化为字符、汉字、图形、图像,并在屏幕上显示;打印机能将文件打印出来;绘图机可将图形绘制出来,等等。和输入设备一样,输出设备也多为机电装置,也需通过接口与运算器、控制器和存储器相连接。

关于输入/输出设备简介及输入/输出接口的详细内容将在第六章中介绍。

#### 5. 互连结构

计算机的五大部件需通过互连结构(Interconnection Structure)连接成一个有机的整体,