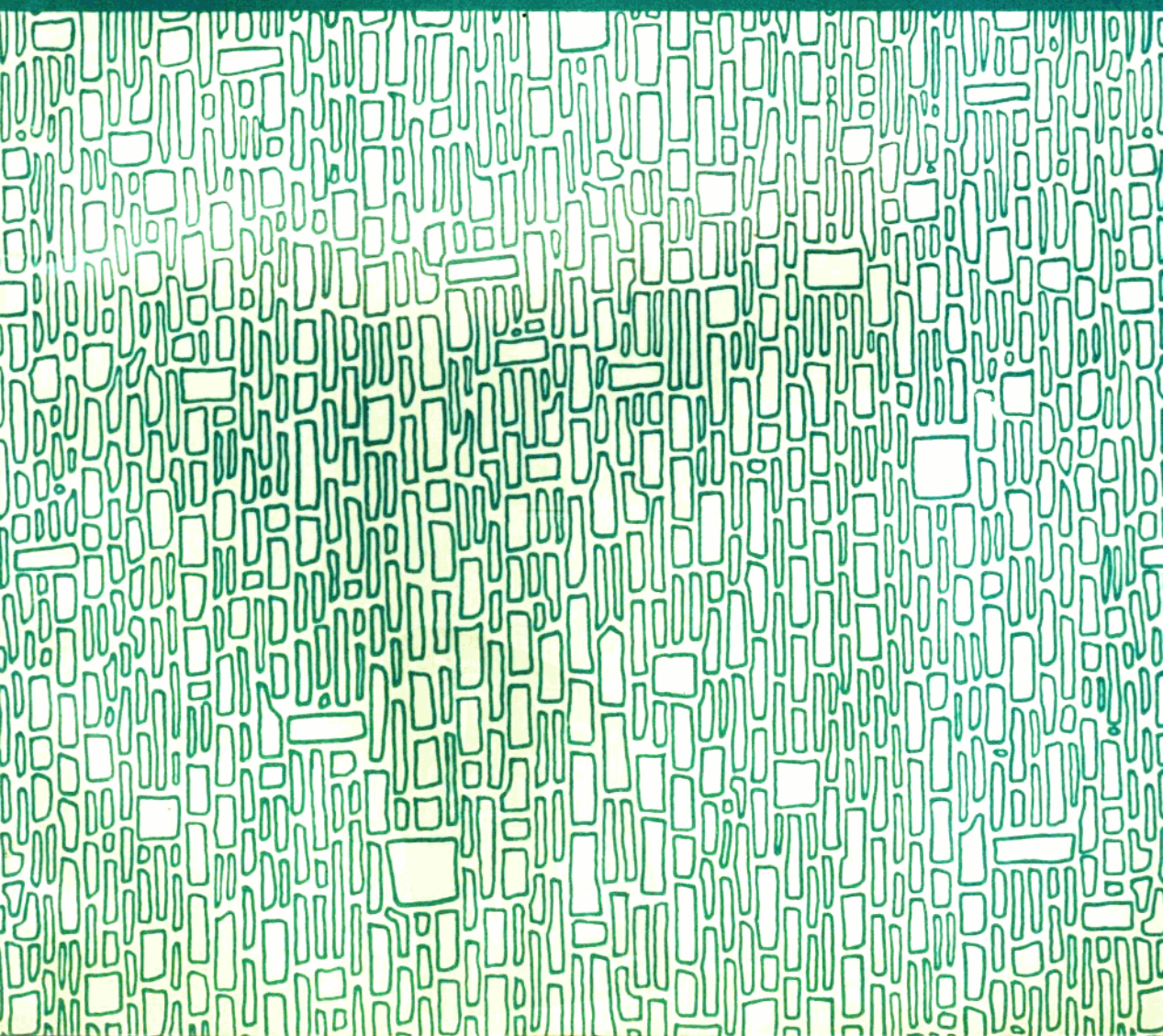


南京大学出版社

计算机导论

史九林 等 编著



计 算 机 导 论

史九林 单启成 宋满英
黄 奇 徐进鸿 周化钢 等编著
欧阳继明

南 京 大 学 出 版 社
1993 • 南京

(苏)新登字第 011 号

计 算 机 导 论

Jishuanji Daolun

史九林 单启成 宋满英

黄 奇 徐进鸿 周化钢 等编著

欧阳继明

*

南京大学出版社出版

(南京大学校内, 邮政编码: 210008)

江苏省新华书店发行 江苏丹阳练湖印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 14 字数 345 千

1993 年 8 月第 1 版 1993 年 8 月第 1 次印刷

印数 1—3000

ISBN 7-305-02078-8/TP·65

定价: 9.00 元

前 言

事过三十年，计算机（又称电脑）在我国已经从专业技术人员手里解放出来，走向全社会，走向各行各业、各种领域，并在它所到之处都能有用武之地，发挥它的巨大作用。今天，再也没有人对计算机这个名词感到陌生和惶惑；而且计算机就出现在他们身边，随处可见；或者正充当他们的助手、受到它产生出来的效益。这是微型计算机的伟大功绩。

然而，这不过只是对计算机的表面和粗浅认识。究竟为什么计算机会如此神通广大？如何才能使计算机为他们忠实地工作？怎样才能充分发挥计算机的潜在能力和巨大效益？许多计算机专业以外的人还往往不尽其解；只知其然，而不知其所以然，更不知如何使其然。有人说：电子计算机是应用面最广、用途最多的一种电子设备。这话说得不错，但不确切。因为，计算机实在是现代信息产业的中枢。没有计算机就没有社会的信息化；没有计算机就没有现代技术的进步。难道计算机的这种巨大能力是固有的吗？回答是否定的。计算机所以又称电脑，就在于它具有与人脑相像之处。同常人一样，要它做一件事，就得首先让它“学习”做这件事的知识和方法。使它“懂得”并“记住”要做什么，如何去做。这就是说，计算机的能力是人赋予的。你赋予它什么能力，它就能做什么事；你赋予它多大的能力，它就能做多大的事。但有一点却与人不同，它比你做得要快得多，认真得多，耐心得多。这就是计算机的快速性，可靠性，科学性和重复性。这是计算机具备的自动化的具体体现。在目前阶段，计算机一到手就企图想要它做你所希望做的事的想法是不现实的。恰恰相反，首先你得为它做必须做的事，使它具备某种能力。这就是软件开发。一旦计算机具备了一种能力，即获得了某个软件，它将比人自己去做要更好、更快、更准；将大幅度地提高你的工作效率和科学性。

我们这里讲的软件开发主要是指应用软件的开发。为了做好应用软件的开发工作，对计算机系统环境（包括硬件环境和软件环境）及其原理，软件的开发技术的一定程度的了解是十分必要的。由于计算机应用领域的不断拓广，对非计算机专业人员的计算机教育就显得十分重要。我们现在不仅需要大量的计算机专业的技术人力；而且更需要大量的复合型人才。要求他们具有丰富精湛的本专业知识和丰富的应用计算机的知识和技能；具备有机应用计算机技术于本专业的能力；以达到改造和加速本专业学科的发展，使之走向自动化、现代化轨道的目标。计算机在人文科学、社会科学中的应用正处在一个新起点上，我们必须抓住这个时机，跟上这个形势。这件工作必须首先从学校教育开始。为此，我们编写了《计算机导论》这本教材。

《计算机导论》是在编者多年从事计算机教学、科研和技术开发的基础上编写而成的；也是专门为非计算机专业，主要是文科各专业的大学生们编写的。它同样适用于各类在职工作人员和有志于计算机应用开发的人使用，作为他们的培训教材或自学读本。教材内容力求全面、简练，文字力求通俗、易懂，讲解力求系统、实用。本教材可以安排在一年级用一学期时间授课，辅以现场参观和上机实践，使学生对计算机系统及其应用有一个全面的了解，掌

握计算机的基本概念、基本原理和一般方法。为此后进一步学习计算机方面的专门技术打下一个良好的基础。

本教材共十五章。第一到五章主要介绍计算机的硬件组成及其工作原理。第六到九章介绍程序设计、程序设计语言以及软件系统。第十到十四章介绍计算机的应用以及应用软件的开发知识。最后一章作为全书的总结，介绍计算机系统及其发展。这一教材体系较好地体现了由里及表，由浅入深，由硬件到软件再到应用的讨论方法。

参加本书编写工作的有：黄奇（第二章的部分内容和第三章），单启成（第十一，十二章），欧阳继明（第九章的部分内容），周化钢（第十，十四章），宋满英（第六，七章），史九林（第一，四，五，八，十三章，以及第二、九章的部分内容），徐进鸿（第十五章）。全书由史九林主编和审阅。在本教材的编写过程中，得到了校系领导的支持，以及系内外同行们的鼓励。在这里表示衷心感谢。

由于编者水平有限，文笔尚欠，错误之处在所难免。敬请读者批评指正，并希望读者及时反馈意见，以便修正和补充。

编 者

1991年10月于南京

目 录

前 言

第一章 计算机的基本组成	1
§ 1.1 计算机的主要特征	1
§ 1.2 计算机的组成元素	3
§ 1.3 计算机的工作原理	7
第二章 计算机运算基础	12
§ 2.1 计算机使用的基本计数制	12
§ 2.2 计算机编码原理	20
§ 2.3 计算机逻辑基础	27
第三章 中央处理器	42
§ 3.1 运算器及其运算方法	42
§ 3.2 控制器及其工作原理	51
第四章 存储系统	56
§ 4.1 存储器的性能指标和分类	56
§ 4.2 内存存储器	58
§ 4.3 内存存储器的连接	64
§ 4.4 外存储器	66
§ 4.5 存储系统的组织	71
第五章 外部设备	73
§ 5.1 常用输入设备	73
§ 5.2 常用输出设备	78
§ 5.3 图形设备	82
第六章 程序设计	86
§ 6.1 程序设计语言	86
§ 6.2 常用高级语言介绍	87
§ 6.3 程序设计	91
第七章 BASIC 语言	94
§ 7.1 概述	94
§ 7.2 BASIC 语言的基本词法	94
§ 7.3 输入/输出语句	98
§ 7.4 转移语句和转子语句	103
§ 7.5 循环语句	105
§ 7.6 数组	108
§ 7.7 字符串及其处理	110

第八章 数据库系统.....	115
§ 8.1 数据库系统的基本原理	115
§ 8.2 数据模型的概念	120
§ 8.3 数据库语言	123
第九章 软件系统.....	127
§ 9.1 什么是软件系统	127
§ 9.2 操作系统简介	128
§ 9.3 语言处理系统简介	136
§ 9.4 数据库管理系统简介	148
§ 9.5 应用软件系统	151
第十章 信息数字化编码和汉字技术.....	154
§ 10.1 信息数字化编码.....	154
§ 10.2 汉字信息处理技术.....	156
第十一章 计算机在科学和工程计算中的应用.....	164
§ 11.1 引言.....	164
§ 11.2 科学和工程计算.....	164
§ 11.3 计算机的解题过程.....	165
第十二章 计算机在数据处理中的应用.....	170
§ 12.1 数据处理.....	170
§ 12.2 计算机情报检索.....	172
§ 12.3 企业管理自动化.....	175
第十三章 计算机的其他应用.....	178
§ 13.1 计算机辅助设计.....	178
§ 13.2 计算机工业过程控制.....	184
§ 13.3 人工智能和专家系统.....	188
第十四章 软件工程简介.....	192
§ 14.1 软件与软件工程.....	192
§ 14.2 系统分析.....	193
§ 14.3 系统设计.....	195
§ 14.4 程序设计语言和编码.....	197
§ 14.5 软件的测试与维护.....	199
第十五章 计算机系统及其发展.....	203
§ 15.1 计算机系统的组成.....	203
§ 15.2 计算机系统的发展.....	204
§ 15.3 计算机网络及分布式系统.....	207
§ 15.4 计算机的“代”及其特点.....	212

参考文献

第一章 计算机的基本组成

计算机能力的显现和强弱与其组成元素有密切的关系。但就其一般而言，它具有最基本的组成。本章首先对此作概要性的介绍。

§ 1.1 计算机的主要特征

1.1.1 什么是计算机

计算机是一种利用电子线路实现数字运算的计算工具。这个定义不仅过于简单，同时也不够精确。理由有三：其一，计算机不同于其他任何计算工具，如算盘、计算尺、手摇计算机或袖珍计算器等，仅仅是一种辅助的静止的工具，而是一种具有一定“智能”的自动化计算工具。故又称它为电脑。其二，尽管计算机的发明和诞生是出于“计算”的需要，但是现代计算机的功能恰远远超出了当初的这个目标，它能接收各种各样的信息，对之进行多种处理，产生满足不同需求的结果或效应，是一种自动化的工具。它在人类的社会活动中充当助手，从事人类能从事的或难以从事的某些活动。其三，计算机本身是一个飞速发展的、技术密集的、高科技的产物，在它的设计思想上、制造工艺上、构成材料上、理论研究上、系统构筑上以及应用技术上都经历了且正在经历着不断发展和突破的过程。与1946年世界上的第一台计算机相比，现代计算机无论在哪一方面都是面貌一新的。可以预见，目前正在研制开发的新一代计算机不用过多久就会问世，它将突破迄今为止的传统设计思想而竖起新设计思想的旗帜，实现“计算机是会思考的机器”的目标。

综上所述，计算机并非如它的名字标明的那样，只是一种“计算”的工具，而是处理“信息”的工具。需要解释的是，计算机处理信息是将信息加以扩大、分配、转换和调整并“制造”出新的信息，因而，更深入地说，计算机能“制造未来的知识世界”。

1.1.2 计算机有什么用途

计算机可以充当一名高明的数学家，完成各种复杂的计算任务或定理证明；也可以充当一名称职的会计师或统计员，忠实于繁琐的记帐和统计业务；还可以充当出色的建筑设计师，设计一份精美的建筑设计图。此外，计算机还可以做很多事，如教学、作曲、绘画……。

总括起来，目前计算机主要应用于科学和工程计算，各种数据处理，情报检索，辅助设计，过程自动控制，企业辅助管理，人工智能等各个方面。详细内容将留在本书以后各章中作系统介绍。

1.1.3 计算机的主要特点

计算机所以有十分广泛的应用，计算机工业所以有突飞猛进的发展，计算机领域所以受到人们的重视，都是因为它具有任何其他计算工具不具备的众多的独有的性能特点，主要是：

(1) 信息的存储和记忆性能。现代社会是一个“信息膨胀”、“知识爆炸”的社会，信息是仅次于资源和能源的第三个要素。因此，利用计算机实现对信息的管理和处理的首要问题是要求计算机具有存储大量信息和长期保存信息的能力。据现代科学证明，人脑细胞共有 130 亿，其容量可以容纳五亿本书的信息总和，记忆力可以持续七八十年之久。虽然计算机的信息存储容量还不能与“神奇”的人脑相比，但是，随着计算机技术的发展，其存储容量越来越大。60 年代的计算机只能存储和记忆几千个符号，70 年代为几万或几十万个，而到 80 年代，一台计算机可存储的信息已达几亿个符号，而且还在不断的增长之中。可以预料，随着对信息处理的更高要求，计算机的存储容量将会成几倍乃至几百几千倍地增长。

计算机的记忆力也是惊人的。当初只能是临时性的记忆，现代计算机可以记住信息达几年，甚至十几年，如果采用一定的技术，则记忆可以是“永久”性的。

(2) 高速处理的性能。计算机的最大特点是高速处理信息的性能，这是人类无法达到的。最初，一台计算机每秒可以进行几千次运算，现代计算机每秒可以进行几百万次，乃至几亿次运算。我国自行设计和安装的银河计算机即为亿次计算机的代表。

计算机的发明和制造的最初目的正是为了弥补人类高速处理信息能力的不足。1946 年研制成功的世界上第一台计算机 ENIAC 每秒钟能完成 5 千次加法，仅用 70 个小时就求出了 2000 多位的 π 值。而 1500 年以前，我国古代数学家祖冲之却用了 15 年时间才推算出 7 位。1981 年日本筑波大学用计算机算出了 π 值的 200 万位。

计算机的高速处理性能使过去不能解决的大量复杂的科技问题得到解决，为揭示许多科学奥秘提供了不可缺少的有力工具。1867 年法国天文学家达拉姆尼为了用天体力学方法求解月球运行轨道花了 20 年时间；而后来，人们用计算机重复他的工作，只花了 20 小时，还发现了他的三个错误。

计算机的高速处理性能使过去只有理论意义的课题具有了实践应用意义。例如数值天气预报，如果用人工方法处理天气预报数据，当获得预报结果时，预报的实际时间早已过去，因而失去预报的意义而成为“后报”。现在用计算机可以在几分钟之内处理完气象资料，及时得出准确的今后十天的预报结果。再如防空系统，在计算机实时系统控制下，一秒钟内就可以对监视区内的一切变化作出反应。

此外，计算机的高处理性能在情报的有效利用，提高生产率和管理水平等多方面都有巨大的作用和影响。例如，据统计资料表明，每年国内外公开发表的文献多达几百万篇以上，发行的杂志几万种。如果在这样的信息海洋中要寻找一个需要的信息，没有高速处理能力的计算机的帮助是不可能达到目的的。

(3) 逻辑判断性能。计算机的逻辑判断能力也是人类无法比拟的，它是实现自动化的前提。例如，医疗诊断方面的问题就是一例。根据病人的临床情况，断定患了什么疾病，开据什么样的处方是一个复杂的逻辑判断过程。再如情报检索处理，根据读者要求找出相应的资料也是一个逻辑判断极强的处理。因此，计算机必须具备数值的大小、事物特征的异同、现象的真假等等之类的判断能力。

(4) 精确可靠性性能。这意味着计算机处理的结果必须是精确的、可靠的，否则计算机就不可信赖。前面我们提到，用计算机可以算出 200 万位的 π 值，意思是说这个数精确到了小数点后的第 200 万位，这个精确度是十分惊人的。一般而言，计算机的正常精确度可达 18 位，采用特殊的技术之后，可以达到满足人们需要的精确度。

可靠性尤为重要。俗话说：“差之毫厘，失之千里”，一个不可靠的卫星轨道计算可以造成生命和财富的巨大损失；一个银行业务处理系统如果不可靠就可能产生破产的后果。一台正常运行的计算机是可靠的。在许多国家，决策人无疑地信赖计算机的处理结果，而对人的处理结果总持怀疑的态度。

可靠性派生出来的另一个问题是安全性和保密性。使用单位对计算机中存储和处理的信息是十分珍惜的，视为他的“命根子”。因此计算机系统提供了帮助他们对信息加密的措施，计算机的安全保密性问题也成为当今计算机能否广泛应用的重大问题。

(5) 自动连续处理性能。计算机能实现自动化的关键在于它的自动连续处理能力，这也是与其他计算工具的根本差别之一。你只要一次把计算或处理的工作程序存储在计算机中，它就可以按照这个程序自动地连续工作，最后向你提供需要的结果（一个公式的结果数据，一份报表等等），其间不再需要人工进行任何干预，而且这个工作程序在你需要时可以任意地再来一次。这就是说，计算机一旦“学会”了你提供的计算或处理方法之后，再作这样计算或处理时就无需再“教”它了。

(6) 广泛应用性性能。今天，计算机的广泛应用性已经无庸置疑了。自1946年第一台计算机问世至今的40多年中，计算机经历了一个迅速发展的过程，计算机产品多种多样，名目繁多，令人眼花缭乱。但是，它们大都具有通用性的品格。

可以这样说，计算机是一种多才多艺的东西，你教它做什么，它就会做什么；它“学会”了做什么，它就能做什么。同一台计算机，你可以用它作计算，解一个复杂的方程；你可以用它来管理帐务或仓库，甚至协助管理人员管理一个工厂；你可以用它来驾驶飞机，控制一台车床的工艺生产过程，甚至控制核电站的核裂变过程；也可以用它来设计一座高层建筑或一种家具；也可以用它来从事教学，教学生学习数学、外语、学习弹钢琴；还可以和它下棋、打桥牌、做游戏。此外，它还可以从事美术、音乐创作以及你希望它要做的一切，只要你“教”给它。

总之，计算机的应用十分广泛，其应用领域还在不断拓广和延伸中。据统计，到目前为止，计算机已在大约5000多个不同的领域中得到成功的应用，而且新的应用领域还在与日俱增。

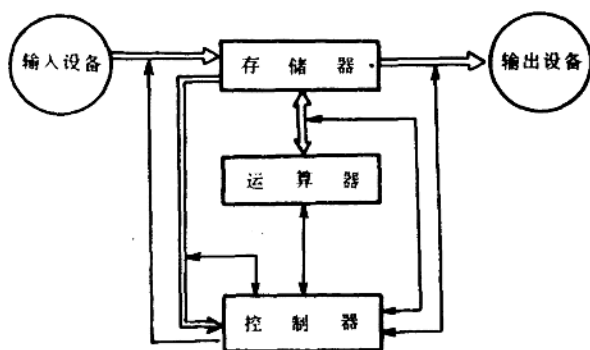
§ 1.2 计算机的组成元素

计算机之所以有广泛的应用，有许多独具的特点，在于它有一个完整的各种组成元素的合理构筑，每一个元素都发挥它自己的功能作用，所有元素在统一控制下作协调工作。本节从整体上来介绍计算机的基本组成元素及其相互关系。

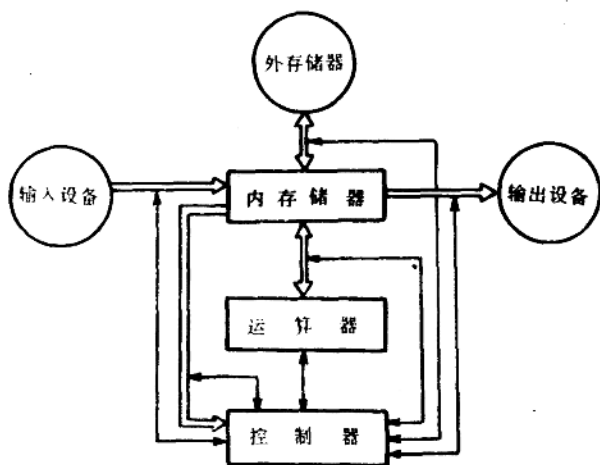
1.2.1 计算机的基本组成

迄今为止的计算机都是冯·诺依曼 (von Neumann) 型的计算机，是1946年由冯·诺依曼领导设计的。冯氏提出、论证并确定了计算机的基本组成和工作原理。

一台典型的计算机由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备组成。图1-1(a)表示了这些组成元素之间的相互关系。其中双线箭头线表示信息的传输，单线箭头线表示协调工作的控制。



(a)



(b)

图 1-1 计算机的基本组成

样发挥作用。

1. 存储器

存储器是信息的存储和记忆装置。这里的信息是指数据，以及需要对数据施行某种处理的“命令”，即指令。例如计算 $5+3=?$ 时，要存储数据“5”和“3”；同时还要存储“把5和3相加”这样的指令；最后还可能要存储指令对数据处理的结果数据“8”。

前面说过，存储器分内存器和外存储器两种。前者又称存储器或内存，后者又称外存。计算机当前要执行的处理的有关信息必须在内存中；而“暂时不用”的信息可以存储在外存中。在这里，我们只介绍内存；外存划归到外部设备中去介绍。

内存相当于人的大脑，由一定数量的“细胞”组成，称为单元。每一个单元能存储和记忆一个单位的信息，如一位数字或一个数据，一个字母或其他符号。为了在需要时使用某一指定的单元，我们把一台计算机内存的所有单元从“0”开始顺序编号。例如，若一个内存由1024个单元组成，则其编号为0, 1, 2, ..., 1022, 1023。若一个内存包含有4096个单元，则编号为0, 1, 2, ..., 4094, 4095。每一个单元都有一个相应的且唯一标志这个单元的编号，并称其为地址。因此，我们可以把内存想象成是一个大厦，它有一定数量的排列很整齐的房

图 1-1 (a) 中的存储器又称内存存储器。为了扩大和增强计算机存储信息记忆信息的能力，又增添了外存储器（见图 1-1 (b)）。外存储器可以说是容量“无限”的存储器。因此，图 1-1 (b) 所示的结构是现代任何种类的通用计算机的基本结构。所有组成元素各司其职，相互协调工作，自动地完成各种处理任务。

通常，把运算器和控制器合在一起称为中央处理器，即 CPU (control processing unit)；把运算器、控制器和内存器合在一起称为主机；把输入设备、输出设备和外存储器合在一起称为外部设备。外存储器又称输入/输出设备。

以上所有列举的实际装置或它们的某种构筑称为硬件。所谓硬件又意味着计算机系统不变元素或不变元素的组合。

1.2.2 计算机各部件的功能

我们把组成元素正式称为部件，这些部件尤如人体的各器官那

间，每一个房间有一个“房间号”，根据房间号就可以唯一地找到它所对应的唯一一间房间。图 1-2 表示了存储器的概念结构。

由上面的例子可以看出，一个内存中单元的最大地址加 1 就是它的单元个数，称为内存容量，常以 K 为单位计数。在计算机科学中 1K 等于 1024 (2^{10} 个单元)。因此，若内存容量为 4K，即是 4096 个单元；若为 512K，即是 ($1024 \times 512 =$) 524288 个单元。内存容量是衡量一台计算机能力大小的重要指标。容量越大，存储的信息越多。目前，任何一台计算机的内存总要在几百 K 或更大容量的范围上。就广泛应用的微型计算机而言，一般都具有 512K 或 640K 左右的容量。最大可达几千 K。我们又把 1K 个 K 定为单位“兆”，用 M 表示。因此几千 K 即几 M。

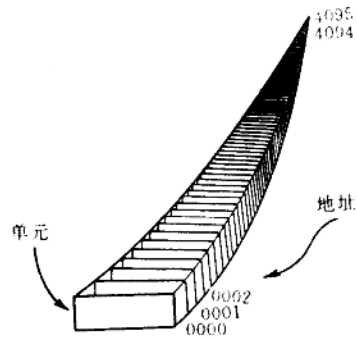


图 1-2 存储器的概念结构示意图

在计算机自动处理过程中可以随时向内存“存入”或从内存中“取出”信息，称为“存/取”或“读/写”。存入信息时，指定单元中原有的信息将被“破坏”，且由新的信息代替，称为“刷新”。取出信息时，指定单元中的信息稳定不变，只取得其复制品。内存的这一特性为“存入时的刷新性和取出时的复制性”。正是这一特性才保证了存储器的存储和记忆信息的能力的实现。在实际应用中，常常出现这样的情形，某些信息一旦存入内存，就希望今后永久地存在，不允许被破坏。为此，只要保证今后不再向这些单元存入新的信息就行了，如果出现这种情况就加以阻止。因此，现代计算机通常同时配置两种不同特性的内存。一种是如上所述的内存，可以随时进行存/取；另一种则是只许取不许存的内存。前者称为随机存储器，后者称为只读存储器。对于某一处理过程的描述信息如果是不容随机改变的，而且将要重复使用，则以存入只读存储器为好。

对内存进行存/取所需要的时间称为存/取周期。制造存储器的材料和技术不同，存/取时间的长短也不同。内存的存/取周期通常以微秒（一微秒为百万分之一秒）为单位计算，记为 ns。它是决定一台计算机处理速度的主要因素之一。

2. 运算器

顾名思义，运算器的职能是对数据进行运算处理的工作，犹如人在作运算时用的铅笔和草稿纸并受到大脑的指挥和手的动作一样，也如借助的任何其他计算工具。

在计算机中，“运算”的概念有更广泛的意义。它不仅是指加、减、乘、除一类的算术运算，同时也指两数的比较、逻辑判断以及其他处理。但是，就运算器本身的功能而言，它只能从事极简单的运算处理。从这个意义上来说，运算器的能力是十分“低下”的。如所周知，任何复杂的数学题或处理过程又是由简单的运算或处理步骤组成的，因此，利用这种简单的运算能力，加之计算机处理的高速度的迭加就能处理任何复杂的问题，这一点就不难理解了。

运算器主要是由若干通用寄存器和一个加法器组成（见图 1-3），图中的 AC_i 表示寄存器。不同规模的计算机包含的寄存器个数不一样。一般是 4 到 16 个。用 $AC_0, AC_1, \dots$ 表示之。寄存器的作用在于存储即将参与运算的数据或中间结果或最终结果。这样可以减少访问存储器的次数，提高处理速度。寄存器与加法器之间，寄存器与寄存器之间可以任意传送数据。加法器的作用是从寄存器中接收数据并进行运算，形成结果数据送出到某一寄存器。因此，加

法器是运算器的主要部件。

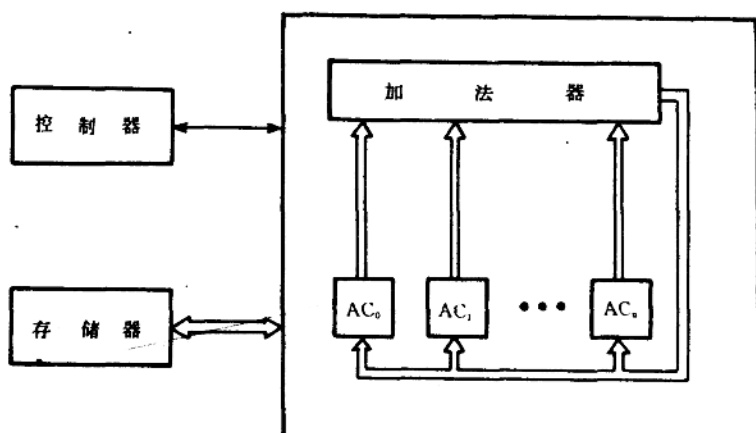


图 1-3 运算器结构示意图

由此可见，运算器的责任在于从存储器中取得数据进行指定的运算，再将结果数据存入存储器或暂时滞留在寄存器中等待参加进一步的运算。必须指出的是，每一步这样的工作都是在指挥机构——控制器的指挥和控制下进行的。

3. 控制器

控制器的作用是控制整个计算机各部件步调一致地工作。这有两方面的意义：一是控制一条指令的执行过程；二是控制一系列连续指令的自动连续执行。因此，控制器是计算机的控制中心。

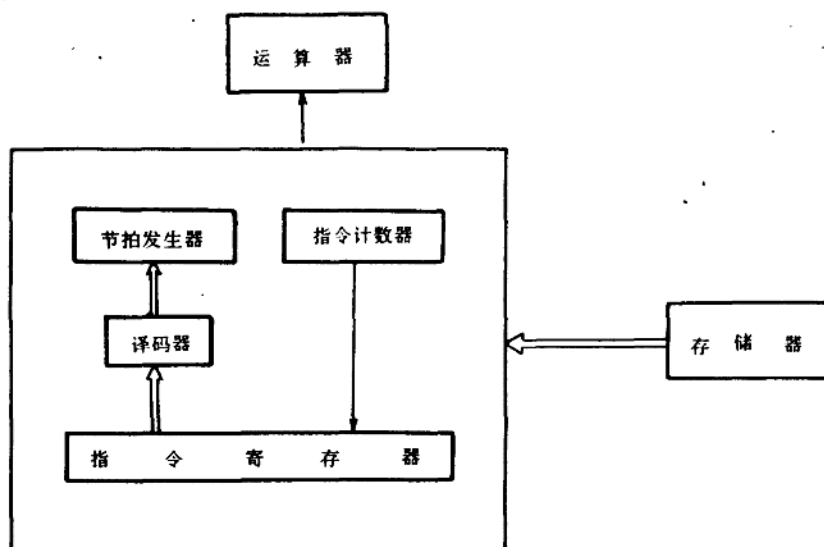


图 1-4 控制器结构示意图

控制器的主要成份是：指令计数器，指令寄存器，译码器，节拍发生器以及有关控制线路（见图 1-4）。由这些成份的合作，完成取得指令、分析指令和控制等工作。也就是说，控制器接收已进入存储器的指令，根据指令要求指挥运算器从何处取得数据，对数据作何种运算，将运算结果送往何方。同时，在一条指令完成之后，接着应取出哪一条指令继续执行。关于一条指令的执行过程留待 § 1.3 节讨论。

4. 外部设备

外部设备是输入设备、输出设备和输入/输出设备的总称，它是计算机与外部环境联系的渠道。要求计算机处理的信息（数据和指令）通过输入设备送入计算机，计算机处理的结果信息通过输出设备按照人们希望的形式送出计算机。因此，输入和输出设备是人与计算机之间的一个接触面，称为人-机接口。而输入/输出设备则是内存的一种扩充或者说是计算机内部信息联系的接口。实际应用中，常常是从输入设备输入信息，再由计算机转接存储输入/输出设备上，计算机正式处理时从输入/输出设备中取得需要的信息，产生的结果又可以暂存在输入/输出设备上，再由输出设备输出（见图 1-5）。这是一种有效利用计算机的方法。

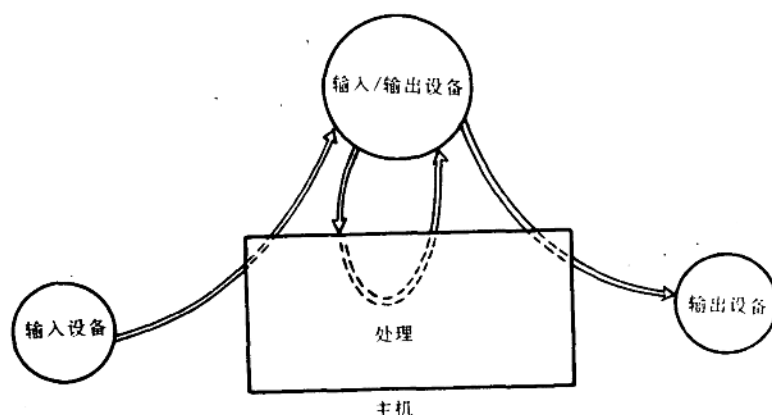


图 1-5 外设与外设之间的关系示意图

目前，计算机的输入设备主要有键盘打字机、卡片输入机、纸带输入机和图形输入机等，正在研制并将实用化的有音频输入设备等。输出设备有（屏幕）显示器、打印机、绘图仪以及语音输出装置等。输入/输出设备主要有磁盘（包括软片和硬盘）、磁带和光盘。不同种类、不同型号的设备有不同的结构、性能、使用方法和应用效果，这将在第五章中作进一步介绍。

§ 1.3 计算机的工作原理

通过前两节的介绍使我们对计算机本身的结构和各部件的功能及其相互关系有了一个初步的认识。那么，计算机到底是如何工作的呢？

1.3.1 指令和指令的执行

计算机是一种能进行自动化处理的机器，但只有在接收了人的意志，按照人的意愿工作才具有实际应用意义。因此，计算机总是处于一种被动的地位。而在它取得了人的意志之后

又能由被动变为主动。指令是人向计算机传达意志的一种“工具”，是人与机器之间的一种“共同语言”。也就是说，人们希望计算机做的每一件事，都用一系列指令的形式表达出来并输入到计算机中存储。这时计算机就可以执行这一系列指令。指令执行结束，要处理的任务即告完成。

所谓指令是指计算机能够执行的每一种基本操作的命令，换句话说，它是人向计算机发出的一道工作命令，通知计算机执行并完成某一确定的基本操作要求。不同种类的计算机可执行的指令的种类、数量和基本操作能力各不相同。一般而言，一条指令总是由“操作命令”和“操作对象”组成：

〈操作命令〉	〈操作对象〉
--------	--------

操作命令指出要作什么操作，如作“加法”、“减法”等等。操作对象指出对哪些数据作指定的操作，如对3和2作加减法运算等等。现在假定，要作计算 $5+4=?$ ，且把“5”和“4”分别存储在地址为6、7的单元中，并将最后结果存储在8号单元中，则有指令：

例 1-1

地址 0：[取 (6) 送入 AC_0]

地址 1：[取 (7) 送入 AC_1]

地址 2：[加 (AC_0) 和 (AC_1) 并送入 AC_0]

地址 3：[存 (AC_0) 到 8 号单元中去]

地址 4：[打印 (8)]

地址 5：[停止]

其中，用一对中括号括住的内容表示了一条指令的内容。“取”、“加”、“存”、“打印”、“停止”都是操作命令。(6)、(7)、(8)分别表示存储在6、7、8号单元中的数据；(AC_0)、(AC_1)表示存储在寄存器 AC_0 、 AC_1 中的数据。它们都是操作对象。需声明的是，这里的指令表示方法不能为计算机接收，仅仅是为说明问题而设计的，真正的指令表示将在第三章中具体介绍。

由上可以看出，计算机不能仅用一条指令完成我们提出的计算任务，而要把它分解成一系列有序的指令才能达到目的。但是，读者在以后章节将会看到，通过软件的能力和帮助，计算机对人而言又可以一次直接接收并完成如 $5+4=?$ 一类的或复杂得多的处理任务。

那么，计算机是怎样执行一条指令的呢？首先是取得指令。计算机在准备执行指令时先从存储器中取得一条指定的指令，该指令所在的内存单元号由控制器的“指令计数器”中当前内容预先确定。例如，其中的“0”表示要取得内存的第0号单元中存储着的那条指令。取得的指令置放在“指令寄存器”中（见图1-6的①和②）。

第二是分析指令。控制器的“译码器”分析指令中的“操作命令”部分，以知其要作何种操作，需要些什么样的“操作对象”。在上面取得的指令中，“取”是要作的操作，意思是“把内存某单元中的内容取出来送到某个寄存器中去”，“操作对象”为内存6号单元中的内容和寄存器 AC_0 （见图1-6的③）。

第三是执行指令。根据对指令的分析结果具体完成指令的操作要求。例如，根据“(6)”从内存6号单元取出数5，根据 AC_0 把5存入 AC_0 中，具体见图1-6的④和⑤，从而该指令执行结束。整个这三步工作，包括每一步中更细的步骤都是由“节拍发生器”控制执行的。

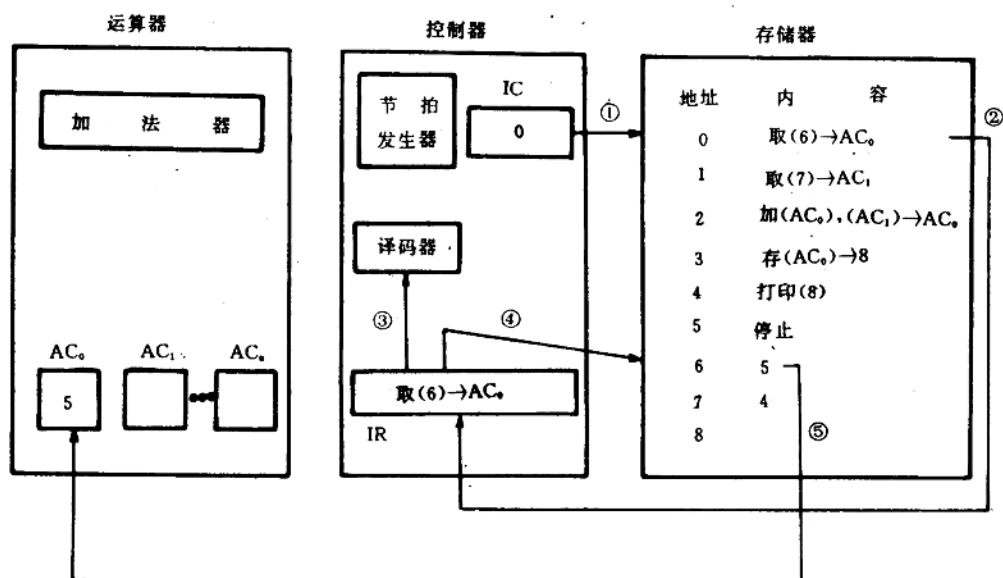


图 1-6 “取”指令的执行过程

为了进一步说明指令的执行过程，图 1-7 显示了“加法”指令执行时每一步所做的工作。与“取”指令的执行不同的是：在分析指令完成之后，分别把 AC₀ 中的数 5 和 AC₁ 中的数 4 送往加法器进行立即性的加法运算，并将结果送回到 AC₀。“存”指令的功能与“取”指令正好相反，读者自己可以画示出其执行步骤。

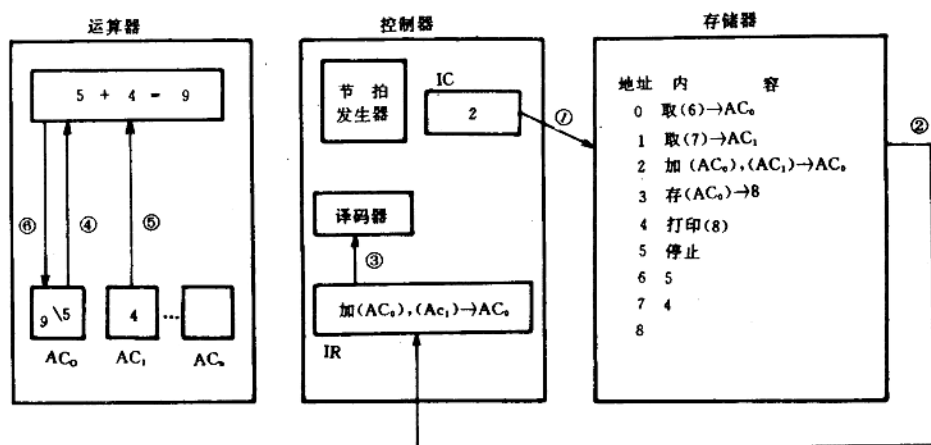


图 1-7 “加”指令的执行过程

1.3.2 指令的连续执行和程序的概念

上节已经说过，对于计算机指令而言，任何一个处理任务都需要一系列有序的指令才能

表示出来, 计算机也只有按一定顺序执行完所有指令后才算完成了处理任务。这种执行又应当是“自动化”的, 为了执行一条指定指令必须预先将那条指令所在的内存地址置于“指令计数器”中。因此, 为了实现指令的连续执行就必须在当前要执行的指令取得之后, 使指令计数器中置有下次要执行的那条指令的地址。如此不断下去, 就实现了指令的连续执行, 即“自动”地执行指令了。

通常, 在一个处理任务的一系列指令开始执行之前, 通过某种方法, 如人工手置方法, 把第一条指令的地址置于指令计数器中, 然后启动计算机工作。它将连续执行所有指令, 直到“停止”指令使计算机处于“停机”状态而结束。

在计算机取得当前指令之后, 确定下一条指令的方法有二。一是使指令计数器的内容自动加“1”, 使下一条要执行的指令是存储顺序上的“下一条”指令。这是最常用的方法, 也是大多数情况下指令系统的特点。二是由一条称为具有“跳跃”性的指令指出下一条要执行的指令的位置, 即地址, 这时指令计数器中将有一个全新的地址, 后继执行将从这个地址指示的指令重新开始按顺序执行下去, 除非又碰到另一条“跳跃”性指令。

跳跃指令又称转移指令, 是计算机具有逻辑判断功能的基础性指令之一。可以说, 没有转移指令就没有逻辑判断, 继而计算机就没有处理问题的能力。例如有算式 $x \div y = ?$, 由数学知识知, 当 $y = 0$ 时除法是不能进行的。因此, 上面的算式并非永远能执行, 而需要在进行除法运算之前首先判断除数是否为“0”。我们可以写出下面的指令系列:

例 1-2

地址 0: [取 (6) 送 AC_0]

地址 1: [取 (7) 送 AC_1]

地址 2: [为“0”? (AC_1)]

地址 3: [为“0”时转移到地址 5]

地址 4: [除 $AC_0 AC_1$]

地址 5: [停止]

地址 6: x

地址 7: y

其中, 地址 2 和 3 中的两条指令联合判断除数是否为“0”, 并决定是否进行真正的除法运算。也就是说, 当地址 3 中的指令执行过后是执行地址 4 还是地址 5 中的指令要看 (AC_1) 是否为“0”。若为“0”则指令中的操作对象“5”指出了下面要执行的指令的位置。

为处理一项任务, 就必须设法把复杂的解算方法分解成许多简单操作能实现的细小步骤, 再用指令表达其中的每一步骤。把所有这些指令按照解算问题时确定的顺序排列在一起, 并对应于内存中从某一地址开始的连续的存储单元, 就构成了“程序”。因此, 程序是一组有序的为完成某一特定任务的指令的集合。前面的例 1-1 是一个程序, 有时我们把程序中待处理的数据也包括在程序中。因此, 例 1-2 也是程序。

因为不同种类的计算机指令能表示的基本操作范围不同, 所以, 同一处理任务在不同的机器上解算时运用的指令和数量也不同。例如, 有的计算机就不提供乘法和除法指令, 而只有加法和减法指令。那么, 例 1-2 表示的程序中就不能用 [除 $AC_0 AC_1$] 这样的指令, 必须用一组加法和减法指令来实现除法运算。这时程序可写成:

例 1-3