

计算机发展概述

1.1 计算机发展史

1.1.1 第一代电子管计算机

为现代计算机奠定理论基础的英国人 Boole, 在 19 世纪创立了“布尔代数”。20 世纪初, Eccles 和 Jordan 两位工程师用电子管组成了双稳态触发器, 生产了记忆原件, 可以用来表示“1”和“0”, 这就为现代计算机打下了物质基础。被计算机科学界普遍认可的第一台计算机, 是 1946 年在美国宾夕法尼亚大学实验室诞生的, 称为电子数学积分和计算机 (Electronic Numerical Integrator and Computer, ENIAC)。它由 18 000 个电子管和 1 500 个继电器组成, 重达 30 吨, 功耗 150kW, 只有 20 个寄存器能存储数据。它的运算速度只有 5 000 千次每秒, 没有软件, 需靠 6 000 个开关和众多插座来编程进行运算。ENIAC 项目组的一个研究人员冯·诺依曼 (John von Neuman) 发现用大量的开关、插头来编程十分费时, 且极不灵活, 他提出程序可以用数字形式和数据一起在计算机内存中表示, 并用二进制替代十进制。

冯·诺依曼设计的计算机由五个基本部分组成: 存储器、运算器、控制器以及输入输出设备, 如图 1-1 所示。首先将编好的程序和数据由输入设备送入存储器中, 再将指令从存储器中取出送往控制器解释分析, 根据指令中的内容产生各种控制信号, 自动控制计算机中所有部件, 按时间顺序完成指令内容。这就是冯·诺依曼程序储存的概念, 也是当今绝大多数计算机遵循的规则。

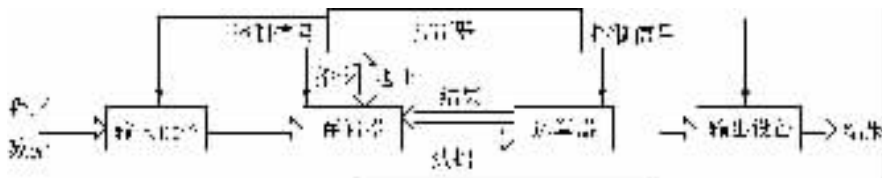


图 1-1 计算机的组成

第一代计算机硬件采用电子管(体积大, 功耗大)为基本器件, 软件主要为汇编语言。应用于 1945—1958 年间。这一时期的计算机主要为军事与国防技术服务, 重点发挥计算机的计算能力, 帮助人们解决复杂的计算问题。

1953 年 IBM 开始研制计算机, 并在几年内发展壮大, 成为领头企业, 到 1958 年推出了

最后一台电子管大型机产品 709。在第一代计算机中,IBM 的成功产品是 IBM650 小型机,销量超过千台,在当时已是了不起了。中国在第一代电子管计算机发展后期,用一句话总结为“跟上了”。1958 年,中科院计算所成功研制出我国第一台小型电子管通用计算机 103 机(八一型)。

1.1.2 第二代晶体管计算机

晶体管是早在 1948 年,由贝尔实验室的 John Barrdeen、Walter Brattain 和 William Shockley 发明的,但成为计算机的主要器件却是大大的滞后了。晶体管与电子管相比具有体积小、功耗低、工作速度快等许多优点,因此晶体管计算机被称为第二代计算机,主要用于 1958—1965 年间,第二代计算机不仅硬件上得到更新,软件上也有了很大的发展,主要体现在高级语言的使用上,如出现 Algol 高级语言,COBOL 和 FORTRAN 高级语言,使计算机编程更容易。另外某些机器上还出现了操作系统(OS)。

第二代计算机在应用上取得了发展,它不仅用于科学计算,还能进行数据处理,如第二代计算机上运行的 COBOL 语言就是数据处理所应用的高级程序并成功进入商业领域、大学和政府部门。这一时期出现了新的职业如程序员、分析员和计算机系统专家,同时,整个软件产业也由此诞生。

IBM7094 是第二代计算机的代表之一,在科学计算领域成为主力机型,它的机器周期为 $2\mu\text{s}$,有字长为 36 位的 32KB 核心内存。IBM 还开发了 IBM1041 机型,比 IBM7094 便宜很多,是商业领域主要机型,它能读写磁带、读卡和打卡,输出性能较好。

中国的第二代计算机发展情况总结为“与日本同期水平相当”。1965 年,中科院成功研制出第一台大型晶体管计算机 109 乙,之后推出 109 丙,该机为“两弹”试验发挥了重要作用。

1.1.3 第三代集成电路计算机

1958 年,美国的工程师 Jack Kilby 发明了集成电路 IC 芯片,将三种电子元件结合到一个小小的硅片上,在单个芯片上可集成几十个晶体管,然后封装。这个发明在 1964 年开始大规模采用,当时集成水平能达到几十、几百,第三代后期达到几千。集成电路的采用使计算机硬件体积更小、速度更快,可靠性更高(焊点数成倍减少是原因之一)。集成电路按集成度划分,可分为小规模集成电路(SSI,每片数十器件)、中规模集成电路(MSI,每片数百器件)、大规模集成电路(LSI,每片数千器件)。

第三代集成电路计算机从 1965—1973 年,不仅硬件发生历史性突破,软件水平也大大提高,操作系统已普遍采用,应用领域已非常广泛。同时计算机开始走上通用化、系列化道路。IBM360 系统是最早采用集成电路的通用计算机,也是影响最大的计算机,它为后来的计算机体系结构奠定了基础。

IBM360 同时满足科学计算和商务处理两方面要求,改变了 IBM7094 只能用于科学计算,而 IBM1041 只能用于商业的单一化,走向了通用化。IBM360 共有 6 种机型,具有相同汇编语言,处理能力是递增的。为低型号机写的软件在高型号机上运行没有问题,反过来只存在内存不足问题,这样就产生了系列化。IBM360 系列有 30、40、50、60、65 和 75 六个型

号,30 型号对应 IBM1041,75 型号对应 IBM7094。

中国在第三代集成电路计算机方面的发展,由于这个时期国内环境等原因,几乎是空白,甚至影响到中国第四代计算机上半期的发展。

1.1.4 第四代超大规模集成电路计算机

超大规模集成电路(VLSI,每片 1 万以上器件)的出现使得一个芯片能集成几万、几十万,甚至百万个晶体管,目前达到几千万个晶体管。有了 VLSI 技术后,可以把第三代计算机的运算器和控制器等部件,集成在一个芯片上,这就是后来的 CPU(中央处理器),CPU 芯片的出现开创了个人计算机时代。

第四代超大规模计算机大约从 1973 年开始到现在,时间跨度非常大,集成度也有天壤之别,那为什么还停留在第四代计算机上呢?原因是第四代计算机的性能大大提高,可以运行大型软件,这样可以编写出智能软件,所以第四代计算机趋向智能化。正是因为有了智能化特征,使得人们期待的第五代计算机不再考虑硬件的集成度指标,而是定义为智能型计算机。从智能型计算机的角度衡量当前计算机,当然还称不上智能,所以仍是第四代计算机。另外第四代计算机的主存储器用半导体存储器取代了磁芯存储器,它的容量按照摩尔定律每 18 个月翻一番的速度向前发展。

第四代计算机发展的伟大成就在于个人计算机的诞生。IBM 于 1981 年推出个人计算机成为当时最畅销的计算机。由于 IBM 个人计算机设计的开放性,许多公司同样可以生产个人计算机,从而推动了新行业发展,让成千上万人拥有自己的计算机。第四代计算机发展的另一成果是计算机网络的出现,它的迅猛发展使得人们在生活方式、文化等许多方面发生了变化,网络正在成为人们生活的一部分。

随着第四代计算机的发展,这个领域的企业排序发生了变化,Intel 公司和 Microsoft 公司打败了世界上最大的 IBM 公司,成了世界上计算机产业的领军公司。

中国在第四代计算机后期开始奋起直追,目前 CPU 技术可以达到 Pentium III 水平,巨型机可以排进前 50 名,值得一提的是,联想公司收购了 IBM 的个人计算机业务,这在以前是根本不可想象的事情。

1.2 计算机系统的层次结构

计算机系统从不同角度分析,可以有几种层次的划分,本书只介绍最基本、最普遍的划分方法。计算机系统可分为应用层、系统层和硬件层,如图 1-2 所示。

硬件层是整个计算机系统的基础和核心,所有的功能最终由此层完成。硬件层又细分成硬件设计和硬件电路。硬件设计包括:计算机各部件组成的设计,指令系统设计、微程序控制器设计等,再把它用数字逻辑设计实现,以便最后生成硬件电路。计算机硬件设计中最重要的是指令系统设计和微程序控制器设计。指令系统也称机器语言,它所提供的是那些计算机硬件可以读懂,并可以直接操纵计算机硬件工作的二进制信息。当前计算机的控制器多采用微程序控制器,其功能是将一条机器指令(0 和 1 组成的二进制代码)对应为一

系列由微指令组成的微程序(也是二进制代码),顺序发出控制命令,控制各逻辑门的打开与关闭,让数据按规定的方向和顺序在硬件部件之间流动,完成指令功能。除了硬件设计人员,人们一般不关心如何设计,因为它是透明的。硬件电路就是具体的集成电路、印制电路板(PCB)等,这个实现过程非常复杂,这里就不作介绍了。硬件设计的最后内容就是把各种部件功能用数字逻辑内容(电路图)表现出来,再把数字逻辑内容转成硬件电路,整个硬件设计就完成了。计算机组成原理只涉及硬件层和硬件设计部分,其他内容则由相应课程介绍,所以计算机组成原理课程内容属于计算机系统硬件知识部分。



图 1-2 计算机系统的层次结构

系统层主要包括操作系统和语言处理程序,语言处理程序即编译器或解释器。操作系统是一个最主要的系统软件,它控制其他程序的运行,管理系统资源并且为用户提供操作界面。简单的操作系统有 DOS,较复杂的操作系统有 UNIX、Linux 和 Windows XP 等。高级语言的源程序可以通过两种方法转换成机器语言(目标程序),一种是通过编译程序在运行之前将源程序转换成机器语言;另一种是通过解释程序进行解释执行,即逐行解释并主动执行源程序的语句。编译程序和解释程序现称为编译器和解释器,它们通常由系统程序员来编写,因为他们熟知硬件对应的机器语言。

应用层包括系统分析、语言工具和应用软件。系统分析是系统分析人员根据对任务需求的分析,设计算法,构建数学模型,并根据数学模型和算法进行概要设计和详细设计。语言工具是程序设计语言,称为高级语言,如 C 语言、C++、VC、Java、C#、Delphi 和 VB 等,还有各种数据库语言。再有就是各种环境平台,它们为各种应用软件提供了丰富的工具。应用软件是面向用户的功能软件,编程人员根据用户需求,选择适当工具编写应用程序,如 MIS 系统(管理信息系统)、印刷排版软件,多媒体软件、数据处理软件、控制软件、事务处理软件 and 游戏软件等。

计算机系统由硬件与软件两部分组成,硬件就是看得见摸得着的东西,剩下的就是软件。在早期,计算机系统设计时,硬件设计不考虑软件问题,只考虑一些硬件特性,而软件是当硬件开发完成后,针对当时具体硬件条件编写的,所以当硬件升级后,软件就不能用了,必须重新编写。自从 IBM360 系列推出后,硬件与软件设计开始相互影响,硬件设计要考虑软件的继承性,软件设计要考虑充分发挥硬件特性及通用性。目前 CPU 的设计一定要考虑当今的软件技术,更好地配合软件来发挥 CPU 的效用,反之也一样。如 2005 年推出的双内核 CPU,就是因为软件技术成熟了,已支持双内核 CPU 的运行,才推出台式机的双内核 CPU;而双内核 CPU 技术早就用在了高端服务器上,只不过这些软件只适合在服务器上运行。台式机双内核 CPU 一定要有软件支持,否则与单 CPU 没有什么区别,因此各种软件开发商必须提早设计并行执行软件,来适应双内核 CPU 的出现;而台式机的双内核 CPU,也要在多数软件支持它的时候推出,否则就是浪费。

1.3 超级计算机发展史

超级计算机是指当时性能最好的计算机,与计算机发展史上的几代有一定区别,第四代计算机从 1973 年至今已三十几年没有再向前发展,原因是第五代计算机要求为智能型,短期内是看不到的,而超级计算机多出现在 20 世纪 80 年代(超大规模集成电路出现)以后,已经历了五代。在超大规模集成电路出现前,没有真正意义上的超级计算机。另外超级计算机不能超越时代去比较,如现在的 Intel P4 CPU 就比第二代超级计算机快上几十倍。

计算机自问世几十年以来,一直采用冯·诺依曼体系结构,超级计算机也是沿用该体系向前发展,大致经历了以下五个阶段,称为五代。

第一代,早期的单处理器系统。如 ENIAC、Univac、CDC7600、IBM360 等都是当时最好的计算机,CPU 由一个大机柜组成,而不是现在的 CPU 芯片(没有出现超大规模集成电路)。从现在角度看它们只是计算机的雏形,但是当时堪称为第一代超级计算机。

第二代,向量处理系统。20 世纪 70 年代末,80 年代初,向量处理机(vector processor)成为当时超级计算机的主流,在商业上取得很大成功。代表机型有 Cray-1、C90、T90、NEC-Sx2、XMP 和中国的银河一号等,称为第二代超级计算机。Cray-1 首次引入了流水线概念,给后来的 RISC 体系结构一个重要启发,有关向量处理系统在本书最后有详细介绍。

第三代,大规模并行处理系统(massively parallel processor, MPP)。它是多计算机系统,采用标准的高性能 CPU,由几十台甚至几千台组成一个超级计算机,并使用高性能专用互连网络连接,属于分布式体系结构,以 IBMsp2、Intel Option Red、Cray T3E 和中国的曙光 3000 等为代表,称为大规模并行处理(MPP)体系,也称第三代超级计算机。

第四代,共享内存处理系统。它是多处理器系统,20 世纪 90 年代初,这种新兴的共享内存结构开始出现并受到欢迎。多处理器系统把几十片到几千片 CPU 组成一个超级计算机,CPU 共享一个地址空间,由一个操作系统管理。它主要存在内存一致性问题,如几个 CPU 某一时刻试图读同一个字或写同一个内存地址。代表机型有 Sun E1000/15000/、SGI Origin 2000/3000、中国的银河三号、神威一号等,称为第四代超级计算机。

第五代,机群系统(也称集群系统)。20 世纪 90 年代中后期,开始出现了许多用廉价组件拼凑起来的集群机(Cluster),也是多计算机系统,每个计算机系统由 Intel 或 AMD 的普通 CPU 和主板组成。集群系统最近几年的兴起得益于 CPU、内存条、主板、网络等产品的小型化、高速性、低价格、通用性等的快速发展。代表机型有洛期阿拉莫斯宾实验室的 Avalon、中国的曙光 4000 系列等。本书最后一章有详细介绍。

第三代 MPP 与第五代集群机在体系结构上是同构的,属于分布内存处理方式,区别在于是否采用价廉物美的普通组件。

习 题

1-1 电子计算机是什么时候诞生的?有什么特点?

1-2 冯·诺依曼型计算机的主要设计思想是什么?它包括哪些主要组成部分?

- 1-3 计算机共经历了几代？各代计算机的硬件与软件主要特点是什么？
- 1-4 什么叫硬件？什么叫软件？
- 1-5 计算机系统可分哪几个层次？
- 1-6 简要介绍计算机系统每个层次的主要内容。
- 1-7 计算机系统各层次之间的相互联系是什么？
- 1-8 操作系统的作用是什么？说出当前常用的几个操作系统。
- 1-9 超级计算机已经经历了几代？第三代与第五代相同与不同之处是什么？

逻辑代数与逻辑门电路

逻辑代数是分析和设计数字系统电路的基本数学工具。逻辑门电路是数字系统电路最基本的单元电路,通过它实现复杂的数字系统电路设计。

2.1 逻辑关系和逻辑门电路

逻辑代数中的变量称为逻辑变量。和普通代数一样,逻辑代数也用字母表示变量。但与普通代数不同的是,逻辑代数中任何变量的取值只能是“0”或“1”两种。而且,这里的“0”或“1”不再像普通代数那样具有数值大小的含义,而是表示所研究问题的两个相互对立的逻辑状态,如逻辑判断的“真”与“假”、“是”与“非”等。在数字电路中可表示为电压的“高”与“低”。

表示条件的逻辑变量为输入变量,表示结果的逻辑变量为输出变量,而描述输入、输出变量之间逻辑关系的表达式就称为逻辑函数或逻辑表达式。

逻辑代数中要研究逻辑变量之间的运算关系,逻辑变量之间的运算称为逻辑运算。逻辑代数中共有三种最基本的逻辑运算:“与”运算、“或”运算及“非”运算。

2.1.1 逻辑“与”及“与门”

“与”运算(and):当决定某一事件的所有条件同时具备时,结果才发生,这种关系称为“与”运算。运算符为“ $\cdot$ ”或“ $\wedge$ ”。

“与”运算是一个二元运算,任意两个变量 A 、 B 的“与”运算关系可表示为: $F = A \cdot B$ 或 $F = A \wedge B$ 。

上式读作 F 等于 A 与 B ,这里 A 、 B 、 F 都是逻辑变量,其中 A 、 B 是进行“与”运算的变量(输入变量), F 是运算结果(输出变量)。为方便起见,“与”运算符可以省略,即 $F = A \cdot B$ 及 $F = A \wedge B$ 可写成 $F = AB$ 。

任意 n 个变量($A_1 A_2 \cdots A_n$)的“与”运算可表示为: $F = A_1 A_2 \cdots A_n$ 。

图 2-1 中表示了这种“与”关系的电路,设灯亮为逻辑“1”、灯灭为逻辑“0”,开关闭合为逻辑“1”,开关断开为逻辑“0”,则灯 F 亮的条件是:开关 A 、 B 都闭合,这种关系写成逻辑表达式: $F = AB$ 。

逻辑“与”的含义是：只有输入变量 A 、 B 都为 1 时，输出变量 F 才为 1；反之，只要 A 、 B 中有一个为 0， F 便为 0。表 2-1 给出了二变量与运算 $F=AB$ 的真值表。

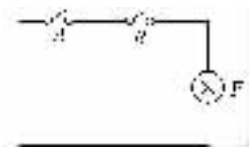


图 2-1 “与”逻辑关系电路

表 2-1 “与”逻辑真值表

输入变量		输出变量
A	B	F
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

能实现“与”逻辑功能的数字电路称为“与门”(and gate)，它是逻辑电路中最基本的一种门电路，它的符号如图 2-2 所示。

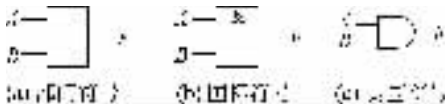


图 2-2 “与”门电路符号

2.1.2 逻辑“或”及“或门”

“或”运算(or)：当决定某一事件的各个条件中只要有一个条件成立，结果就发生，这种关系称为“或”运算。运算符为“+”或“ $\vee$ ”。

“或”运算也是一个二元运算，任意两个变量 A 、 B 的“或”运算关系可表示为： $F=A+B$ 或 $F=A \vee B$ 。

上式读作 F 等于 A 或 B ，这里 A 、 B 都是逻辑变量，其中 A 、 B 是进行“或”运算的输入变量， F 是输出变量。

任意 n 个变量($A_1 A_2 \cdots A_n$)的“或”运算可表示为： $F=A_1+A_2+\cdots+A_n$ 。

图 2-3 中表示了这种“或”关系的电路。灯 F 亮的条件是：开关 A 、 B 中至少有一个闭合。这种关系写成逻辑表达式： $F=A+B$ 。这里的“+”是“或”运算符，不是数学加。

逻辑“或”的含义是：只要输入变量 A 、 B 中有一个或一个以上为 1，输出变量 F 就为 1；反之，只有 A 、 B 全为 0 时， F 才为 0。表 2-2 给出了二变量或运算 $F=A+B$ 的真值表。

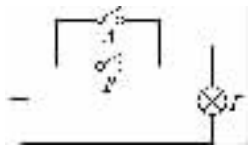


图 2-3 “或”逻辑关系电路

表 2-2 “或”逻辑真值表

A	B	F
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

能实现“或”逻辑功能的数字电路称为“或门”(or gate),它也是逻辑电路中最基本的一种门电路,它的符号如图 2-4 所示。

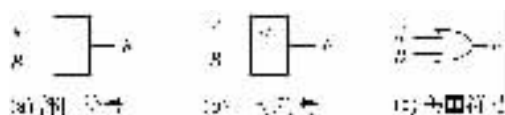


图 2-4 “或”门电路符号

2.1.3 逻辑“非”及“非门”

非运算: 如果条件具备了,结果便不会发生;而条件不具备时,结果一定发生。这种对单个变量进行逻辑否定的“非”运算(not),又叫“反相”运算,也称“求补”。“非”的含义是:若 $A=1$,则 $\bar{A}=0$;反之,若 $A=0$,则 $\bar{A}=1$ 。

图 2-5 中表示了这种“非”关系的电路。灯 F 亮的条件是:开关 A 断开。这种关系写成逻辑表达式: $F=\bar{A}$ 。变量上的“ $\bar{}$ ”是“非”运算符,读作“非”或者“反”。

表 2-3 给出了“非”运算 $F=\bar{A}$ 的真值表。

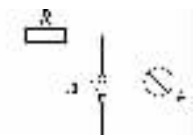


图 2-5 “非”逻辑关系电路

表 2-3 “非”逻辑真值表

A	F
0	1
1	0

能实现“非”逻辑功能的数字电路称为“非门”(not gate),它也是逻辑电路中最基本的一种门电路,它的符号如图 2-6 所示。

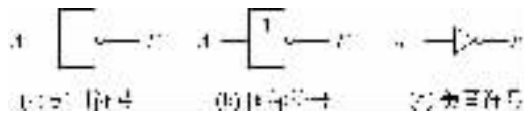


图 2-6 “非”门电路符号

2.1.4 复合逻辑及复合门

“与”、“或”、“非”三种基本逻辑运算组合后,可生成许多复合逻辑运算,并有相应门电路与之对应。在数字电路的实际应用中,更广泛使用的是“与非”门、“或非”门、“与或非”门和“异或”门等复合门电路。

1. “与非”逻辑和“与非”门

“与非”逻辑是由“与”逻辑和“非”逻辑复合而成的,其表达式如下:

$$F = \bar{A}B$$

实现“与非”逻辑功能的电路称为“与非门”。二变量与非门的符号如图 2-7 所示。跟与

门的符号相比,与非门的输出有个小圈,这就是取非的意思。二变量与非门的真值表见表 2-4。

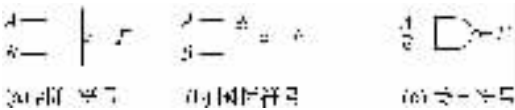


图 2-7 “与非”门电路符号

表 2-4 “与非”逻辑真值表

A	B	F
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

2. “或非”逻辑和“或非”门

“或非”逻辑是由“或”逻辑和“非”逻辑复合而成的,其表达式如下:

$$F = \overline{A + B}$$

实现或非逻辑功能的电路称为“或非门”。二变量或非门的符号如图 2-8 所示,比或门输出多个小圈,代表取非含义。二变量或非门的真值表见表 2-5。

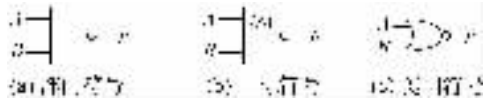


图 2-8 “或非”门电路符号

表 2-5 “或非”逻辑真值表

A	B	F
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

3. “与或非”逻辑和“与或非”门

“与或非”逻辑是由“与”逻辑、“或”逻辑和“非”逻辑复合而成的,其表达式如下:

$$F = \overline{AB + CD}$$

“与或非”逻辑的逻辑关系可描述为:当各组“与”中至少有一组全部输入均为 1 时,输出才为 0。实现与或非逻辑功能的电路称为“与或非”门。与或非门的符号如图 2-9 所示。它的逻辑运算顺序为先与再或最后非。

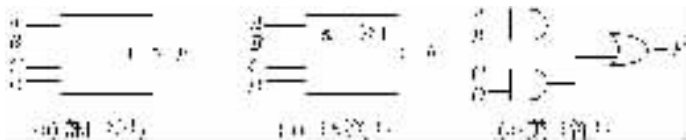


图 2-9 “与或非”门电路符号

4. “异或”逻辑和“异或”门

二输入变量的“异或”逻辑定义为:两输入值相异(不同),输出为 1;两输入值相同,输出为 0。其表达式如下:

$$F = A \oplus B = A\overline{B} + \overline{A}B$$