

中国计算机软件专业技术资格和水平考试自学丛书

# 计算机系统结构基础

严允中 徐炜民 编著  
徐拾义 主审

清华大学出版社



# 计算机系统结构基础

严允中 徐炜民 编著

徐拾义 主审

清华大学出版社

## 内 容 简 介

本书是由中国计算机软件专业技术资格和水平考试中心组织编写的自学丛书之一。它是根据1991年公布的《中国计算机软件专业技术资格和水平考试大纲》为依据。本书内容包括：计算机组成、存储系统、总线结构、计算机体系结构、可靠性与性能评价、软件对系统结构的影响。各章均有一定数量的例题、习题以指导软件人员参加考试。

本书可供计算机软件人员用作自学教材，也可供各部门举办培训班、各类软件人员应考复习用作辅导教材，并可作为大专院校师生和工程技术人员学习参考书。

(京) 新登字 158 号

### 计算机系统结构基础

严允中、徐炜民 编著

徐拾义 主审

☆

清华大学出版社出版

北京 清华园

昌平环球印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

☆

开本：787×1092 1/16 印张：12.75 字数：310千字

1993年5月第1版 1993年5月第1次印刷

印数：00001—8000

ISBN 7-302-01173-7/TP·436

定价：8.20元

# 前 言

本书根据《中国计算机软件专业技术资格和水平考试大纲》编写。为了指导软件人员的学习,帮助准备参加软件水平考试的学员应试,在吸取以往已经出版的同类教材优点的基础上,结合本课程新的发展编写而成。

本书内容是以考试大纲为依据,参照计算机系统结构发展而确定的。作者力求深入浅出地阐述计算机系统结构的基本概念、基本原理、基本结构和基本分析方法,并介绍了近年来出现的一些较成熟的新概念和新技术,充分反映现代计算机发展水平。该书力图使内容丰富、具体,便于教学,也便于读者自学。在保持内容全面的基础上,力求加强应考的针对性。每章后面都附有一定数量的典型例题和习题。由于篇幅限制,某些概念不能全面展开,故在例题分析中予以阐述,并提供解题技巧,望读者注意。

全书共包括六章。它们是:计算机组成、存储系统、总线结构、计算机体系结构、可靠性与性能评价、软件对系统结构的影响等。在编写和内容衔接上,作者力求语言简炼,层次结构清晰。本书也可作为计算机专业师生的参考教材。

本书第一、二、六章由严允中同志编写,第三、四、五章由徐炜民同志编写。全书经上海科技大学徐拾义副教授等审阅。本书的编写得到了上海工业大学张吉锋教授的指导,在此深表感谢。

由于作者学识有限,谬误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

1992年6月,上海

# 目 录

<b>第一章 计算机组成</b> .....	1
1.1 计算机的特性和组成 .....	1
1.1.1 计算机的主要特性 .....	1
1.1.2 计算机的冯·诺依曼结构 .....	2
1.1.3 计算机的硬件组成 .....	3
1.2 计算机系统的功能和结构 .....	6
1.2.1 计算机系统的层次结构 .....	6
1.2.2 计算机系统的特性 .....	8
1.3 指令系统.....	12
1.3.1 数据的表示.....	13
1.3.2 寻址方式分析.....	18
1.3.3 指令格式优化.....	20
1.4 新一代计算机.....	22
1.4.1 新一代计算机概况.....	22
1.4.2 新一代计算机使用的若干技术.....	26
1.5 例题和习题.....	28
<b>第二章 存储系统</b> .....	38
2.1 存储体系的原理.....	38
2.1.1 存储容量、速度与价格的矛盾 .....	38
2.1.2 存储体系的原理.....	39
2.2 地址的映象与变换.....	49
2.2.1 全相联映象及其变换.....	49
2.2.2 直接映象及其变换.....	52
2.2.3 组相联映象及其变换.....	52
2.2.4 段相联映象.....	54
2.2.5 对标志表的分析.....	56
2.2.6 散列概念在地址变换中的应用.....	57
2.3 替换算法及其实现.....	58
2.3.1 替换算法的分析.....	59
2.3.2 LRU 替换算法的实现 .....	62
2.4 并行存储器.....	65
2.4.1 地址空间的划分.....	65
2.4.2 访问周期的控制.....	67

2.5	高速缓冲存储器(Cache)	68
2.5.1	Cache 的工作原理	68
2.5.2	Cache 的替换算法	70
2.5.3	Cache 的透明性	72
2.5.4	任务切换对失效率的影响	73
2.5.5	多处理机系统的 Cache 结构	74
2.5.6	“Cache-主存”层次性能分析	74
2.6	虚拟存储器	76
2.6.1	虚拟存储器原理	77
2.6.2	虚拟存储器指标	84
2.6.3	“Cache-主存-辅存”层次	87
2.7	主存保护与控制	88
2.7.1	主存保护	88
2.7.2	主存控制部件	91
2.8	例题和习题	92
<b>第三章</b>	<b>总线结构</b>	104
3.1	引言	104
3.1.1	总线的分类	104
3.1.2	总线结构的特点	105
3.2	总线通信方式	105
3.2.1	同步通信方式	106
3.2.2	异步通信方式	107
3.2.3	半同步通信方式	108
3.2.4	分离式通信方式	109
3.3	总线仲裁	109
3.3.1	串行总线仲裁	110
3.3.2	并行总线仲裁	110
3.4	总线标准	110
3.4.1	S-100 总线	111
3.4.2	MULTIBUS 总线	111
3.4.3	VME 总线	112
3.5	例题和习题	113
<b>第四章</b>	<b>计算机体系结构</b>	115
4.1	计算机系统结构分类	115
4.1.1	弗林分类法	115
4.1.2	冯氏分类法	116
4.2	常规计算机体系结构	117
4.2.1	以 CPU 为中心的系统	117

4.2.2	面向外围的系统 .....	118
4.2.3	以存储器为中心的系统 .....	120
4.2.4	堆栈机结构 .....	120
4.3	流水线结构 .....	122
4.3.1	基本概念 .....	122
4.3.2	流水结构的分类 .....	123
4.3.3	主要性能与分析 .....	125
4.3.4	相关处理与控制 .....	127
4.3.5	向量的流水处理 .....	129
4.4	并行处理机 .....	130
4.4.1	计算机系统结构中的并行性概念 .....	130
4.4.2	单机系统并行性概念的发展 .....	130
4.4.3	并行处理机 .....	131
4.4.4	阵列机结构 .....	135
4.5	多处理机系统 .....	136
4.5.1	多处理机系统的并行性发展 .....	136
4.5.2	多处理机系统的耦合度 .....	137
4.5.3	多处理机系统的基本结构 .....	137
4.5.4	多处理机系统的特点 .....	138
4.5.5	程序并行性的分析 .....	139
4.6	精简指令集计算机(RISC) .....	140
4.6.1	基本概念 .....	140
4.6.2	RISC 体系结构特点 .....	141
4.6.3	几种 RISC 处理器简介 .....	142
4.7	数据流计算机 .....	145
4.7.1	数据流机的基本原理 .....	145
4.7.2	数据流语言 .....	145
4.7.3	数据流机结构 .....	145
4.7.4	数据流机评价 .....	146
4.8	智能计算机 .....	146
4.8.1	智能计算机的基本特点 .....	147
4.8.2	智能计算机的设计要点 .....	147
4.8.3	智能计算机的开发层次 .....	147
4.9	例题和习题 .....	148
<b>第五章</b>	<b>可靠性与性能评价</b> .....	<b>155</b>
5.1	可靠性技术概述 .....	155
5.2	故障诊断 .....	156
5.2.1	故障的类别及产生的原因 .....	156

5.2.2	故障诊断测试方法 .....	156
5.2.3	微诊断方式 .....	158
5.3	容错与冗余技术 .....	159
5.3.1	冗余结构 .....	159
5.3.2	冗余设计 .....	159
5.4	可靠性模型与分析 .....	160
5.4.1	可靠性模型 .....	160
5.4.2	串联系统可靠性分析 .....	160
5.4.3	并联系统可靠性分析 .....	161
5.4.4	串并联系统和并串联系统的可靠性分析 .....	162
5.4.5	备用系统 .....	162
5.4.6	n 取 r 系统 .....	163
5.5	软件可靠性 .....	163
5.5.1	软件可靠性管理 .....	163
5.5.2	软件可靠性设计技术 .....	164
5.5.3	软件测试 .....	164
5.6	计算机安全 .....	164
5.6.1	计算机病毒 .....	165
5.6.2	计算机犯罪 .....	166
5.7	描述与评价 .....	167
5.7.1	描述语言 .....	167
5.7.2	性能评价 .....	169
5.8	例题和习题 .....	171
<b>第六章</b>	<b>软件对系统结构的影响</b> .....	<b>174</b>
6.1	操作系统的影响 .....	174
6.1.1	批量处理系统 .....	175
6.1.2	单用户交互式系统 .....	175
6.1.3	分时操作系统 .....	176
6.1.4	实时操作系统 .....	176
6.1.5	网络操作系统 .....	176
6.1.6	分布式操作系统 .....	177
6.2	语言发展的影响 .....	177
6.2.1	实现新层次的方法 .....	178
6.2.2	多层计算机的设计策略 .....	178
6.2.3	程序移植 .....	180
6.2.4	现代模型研究方法——计算机仿真 .....	182
6.3	并行处理的影响 .....	183
6.3.1	并行计算机分类 .....	184



6.3.2 并行计算机性能 .....	184
6.3.3 并行处理技术中的基本问题 .....	184
6.3.4 并行算法与并行机体系结构的关系 .....	186
6.4 软件的固化与硬化 .....	187
6.5 例题和习题 .....	189
<b>参考文献</b> .....	<b>195</b>

# 第一章 计算机组成

本章首先讲述计算机的特性和组成,以及计算机系统的层次结构和系统特性。在此基础上,归纳、总结传统计算机基本结构的优点、弱点,从而引伸出新一代计算机的发展趋势。

## 1.1 计算机的特性和组成

### 1.1.1 计算机的主要特性

#### 一、计算机的定义

计算机是一种不需要人的直接干预而能自动完成各种算术和逻辑运算的工具。按照这个定义,算盘、手摇机械式计算机、电动计算机以至于目前市场上普遍出售的计算器等均不是计算机,究其原因是这些计算工具均非自动化,且不以逻辑运算作为它的主要功能之一。但是,该定义仍不贴切,它把慢速的机电式分析计算机和用连续物理量表示数据并基于数学模拟原理而实现计算过程的模拟计算机也包括进来了,所以,必须说明,本书只讨论电子数字计算机,它以数字化编码形式的信息作为加工对象。只要不加特殊说明,通常所称的计算机就都理解为电子数字计算机。这样,便可以归纳出一个范围比较确定而全面的计算机的定义:计算机是一种不需人的直接干预,能够对各种数字化信息进行算术和逻辑运算的快速电子设备。

电子数字计算机按其规模(指运算速度、字长、存储容量等主要性能指标)可分为巨型机、大型机、中型机、小型机和微型机等五类;按用途区分为通用机和专用机;按数的表示形式可区分为定点机和浮点机;按工作方式可区分为串行计算机和并行计算机;按结构组装方式可区分为积木式计算机、单板计算机、单片计算机、位片式计算机和分布式计算机;按特殊功能命名的有容错计算机等。电子数字计算机的分类和命名方式繁多,但其功能可概括地归纳为科学计算、数据处理、过程控制和人工智能四个方面。

#### 二、计算机的主要特性

计算机用存储程序和数据的方法,自动完成预定的信息处理任务,即把计算过程表示为由许多条指令组成的程序,和数据一起预先存入计算机的存储器,操作者从键盘上发出运行命令,程序控制计算机按照规定的次序一条一条执行指令,自动完成预定任务。构成计算机硬件的高速高集成度的半导体器件与存储程序原理相结合,便形成了计算机重要特性之一——快速性。

计算机的另一重要特性是它的通用性。它把任何复杂繁重的信息处理任务分解为大量的基本算术和逻辑操作,反映在计算机的指令操作中,按照执行的先后次序,把它们组成各种程序。这些程序包括系统程序、服务程序包和用户自己编写的应用程序。存储在存储器里的程序能很快地从存储器中调出来运行,不但是实现自动快速处理信息的需要,也

由于十分灵活、易于变更,才使计算机具有极大的通用性。当然,必需指出:决定计算机通用性的因素中,除了程序控制方式外,程序的内容也起着主要作用。由于计算机具有逻辑判断和处理能力,所以它能将各种运算有机地组织成为复杂多变的计算机控制流程。计算机程序加工的对象不单是数值量,而是形式和内容十分丰富多样的各种信息,例如语言、文字、图象、图形、声音等。表示信息的有效方法是数字化信息编码。数字化编码技术不但保证了运算和控制的极高准确性,也是计算机获得其逻辑判断和逻辑运算能力的基础。数字化信息编码和存储程序原理相结合,使计算机具有下述重要特性——通用性、准确性和逻辑性。

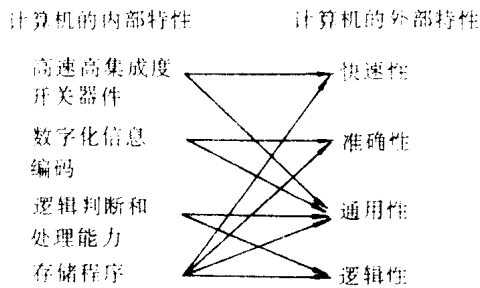


图 1.1 计算机内部特性和外部特性对应关系

快速性、通用性、准确性和逻辑性是计算机的外部特性,它是由计算机内部特性——高速高集成度器件、程序存储方式、数字化信息编码技术和逻辑判断处理能力——所决定的,计算机内外特性对应关系见图 1.1。图中箭头表示了内部特性与外部特性之间的因果关系。由图可知:通用性最集中地体现了计算机的结构特点,而程序存储方式则是计算机组成原理中最关键的一条。

通用性最集中地体现了计算机的结构特点,而程序存储方式则是计算机组成原理中最关键的一条。

### 1.1.2 计算机的冯·诺依曼结构

存储程序概念最早是由匈牙利籍数学家 J·冯·诺依曼(John Von Neumann)于 1946 年提出,他同时提出了一个完整的现代计算机雏型。40 多年来,虽然计算机经历了重大变化,性能有了惊人提高,但就其系统结构而言,进展不大,至今占有主流地位的仍是以存储程序原理为基础的冯·诺依曼结构。它由运算器(ALU)、控制器(CU)、存储器(MEM)和输入/输出设备(IN/OUT)组成,如图 1.2 所示。冯·诺依曼型计算机系统结构基本特点可归纳如下:

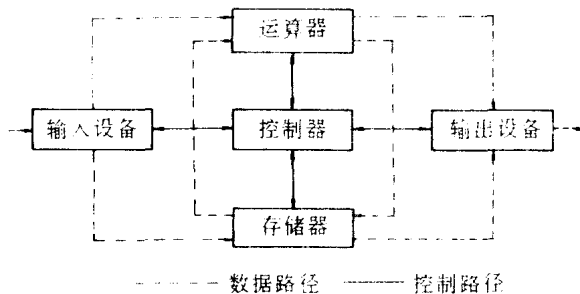


图 1.2 冯·诺依曼型机器的结构

1. 存储器是按地址访问的顺序线性编址的一维结构,每单元的位数是固定的,目前均为 8 位,称为 1 个字节。机器的运算速度与访问存储器次数有关。

2. 指令由操作码和地址码组成。操作码确定本指令的操作类型和操作数的数据类型,操作数本身判定不了它是何种数据类型(如是定点数,还是浮点数等)。地址码指明操作数的地址。

3. 指令在存储器中是按其执行顺序存储,由指令计数器指明每条指令所在单元的地址,一条指令由一个至若干个字节的信息组成,每取一个字节信息,则程序计数器加1,指令取全,指令计数器指向下一条指令的地址。虽然执行顺序可以根据指令执行的结果予以改变,但程序算法从整体上来看,仍然是、也只能是顺序型的。

4. 在存储器中指令和数据同等对待,从它们本身是区别不了的。指令同数据一样可以运算,即由指令组成的程序是可以修改的。

5. 计算机的系统结构以运算器、控制器为中心,输入/输出设备和存储器的数据传送都途经运算器、控制器;运算器、存储器、输入/输出设备的操作以及它们之间的联系都由控制器集中控制。

6. 指令、数据均以二进制编码表示,采用二进制运算。

冯·诺依曼等人提出的这种结构在当时是很有贡献的,它奠定了计算机发展的基础。虽然当时的计算机是为了解非线性微分方程而设计的,但基本采用这种结构的计算机,却成功地应用于其它各种数值解题以及诸如信息处理系统、事务数据处理和工业控制等广泛领域,这是冯·诺依曼等人当时所没有想到的。由于当初设计时既没有考虑到要采用高级语言,也没有顾及会有操作系统以及广泛的应用领域的各种要求,由此而引起的矛盾至今就显得日益突出了。这些矛盾表明了冯·诺依曼型结构的局限性,反映在以下几点:

(1) 由于冯·诺依曼型结构以数值计算为主,因而对自然语言、图象、图形和符号处理的能力较差,不能满足今后在上述领域的应用需求。

(2) 由于程序算法从整体上是顺序型的,从而限制了并行操作发挥,使计算机运算速度的提高因冯·诺依曼型结构的固有弱点而不能在现有基础上取得根本性的突破。

(3) 在该型上发展起来的软件系统越来越复杂,正确性无法保证,软件生产率低下。

(4) 该型的硬件投资较多,可靠性差,在体系结构发展上受限制。

(5) 要求使用该型结构计算机的应用人员既懂专业知识,又要具备编程技巧。

### 1.1.3 计算机的硬件组成

#### 一、构成计算机的基本元器件

随着半导体工艺的迅猛发展及大规模集成电路(LSI)、超大规模集成电路(VLSI)的广泛应用,当前大多数计算机的中央处理机(CPU)由下述两种方法组成:

1. 采用半导体厂商生产的微处理器芯片为核心组成计算机。当前微处理器芯片已从8位、16位发展到32位结构,例如Intel公司的80386、80486微处理器, Motorola公司的68020、68030、68040微处理器等均为目前普遍使用的著名CPU芯片。这些大批量生产的微处理器作为商品出售。

2. 一些大计算机公司采用自行设计制造的CPU芯片来构成各种大、中、小型计算机。诸如IBM、DEC等公司就是这样做的。由于这些器件的生产量相对来讲比较小,且不在市场上出售,因此仿制兼容机就困难了。

这些 CPU 芯片多数采用传统结构(即冯·诺依曼结构),但是近年来出现了精简指令集计算机技术(RISC),以该技术为基础生产的 CPU 芯片已占据了一定的地位(与此对应的,即传统型的体系结构称为复杂指令系统计算机——CISC)。

除了 CPU 芯片外,还有大量电路与之配合,常用的有浮点运算协处理器(例如 Intel 8087、80287、80387)、I/O 处理器(例如 Intel 8089、80289、80389)、存储器(例如静态随机存取存储芯片 SRAM、动态随机存取存储芯片 DRAM、可编程可擦除只读存储芯片 EPROM、电擦除可编程只读存储芯片 E<sup>2</sup>PROM)、各种 I/O 接口电路以及可编程逻辑阵列等,近年来在计算机中还广泛应用门阵列电路(Gate Array)。

## 二、构成计算机的基本组成部件

一般计算机结构框图由 CPU、MEM(存储器)、I/O 接口、外部设备、总线等组成(见图 1.3)。某些模块可由用户自行决定舍取,例如协处理器(浮点运算处理器、I/O 处理器、DMA 控制器等)、某些 I/O 接口、高速缓存(Cache)等。

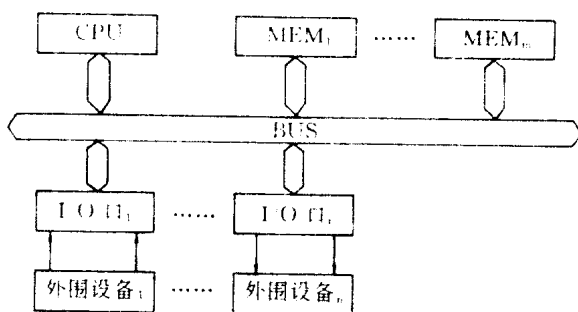


图 1.3 计算机结构框图

系统总线按其传递信息的作用可分成三部分:

1. 数据总线。这是部件间传送数据的通道,宽度一般随字长而定。如为 32 位计算机,则数据总线为 32 根。数据总线能双向传递信息。

2. 地址总线。这是传送 MEM、I/O 口地址的通道,其宽度随 CPU 直接寻址范围而定。如 8086 直接寻址范围为 1MB,则其地址总线为 20 根。

3. 控制总线。这是各部件间为传送信息而所需的控制信号的通道,其宽度随系统需要而定。控制信号有从 CPU 发出的,也有送向 CPU 的。

## 三、处理器技术新进展

半导体集成技术的飞速发展,使处理器芯片的集成规模越来越大,工作速度也在不断提高。冯·诺依曼结构仍是当前处理器发展的主流,从用途上看分成专用处理器和通用处理器两大类。

专用处理器仅限于特定用途。它又分为协处理器型和独立型。协处理器型要和通用处理器配合使用,其作用是代理通用处理器执行程序中的部分指令。独立型的专用处理器可单独工作,执行独立的程序,其中最典型的是信号处理器和图象处理器。它们一般都具有能够确保编程的指令系统,工作时,1 个周期可执行一条指令,从指令执行步骤到处理时间都是固定的,因此,可执行高速处理。目前,独立型的专用处理器正向单片化、多功能

的方向发展,芯片内集成数据存储器或图像存储器的技术已被普遍采用,大大提高了时钟频率。

通用处理器的应用范围广,功能齐全。随着 VLSI 技术进步,处理器的性能越来越好,集成规模越来越大。它在技术上有两个明显特点:一是外部模块在片化;二是指令执行流水线化。前者指将存储器管理部件、高速缓存(Cache)和 CPU 做在一块芯片上,以提高数据传输速度。流水线化是指采用并行执行多条指令的方式。在 CPU 执行指令时,需要经过取指令、指令译码、实地址生成、取操作数和执行等步骤,将执行各个步骤的部件按流水线方式连接,使其并行动作,可提高指令的执行速度。

通用处理器按体系结构可分为 CISC 型(即复杂指令系统计算机)和 RISC 型(即精简指令集计算机)。

CISC 型是吸取大型机的设计思想研制的微处理器。其主要特征是:具有大容量的物理和逻辑地址空间;有 100 种以上功能齐全的指令系统和丰富的寻址方式;设有多个保护级;流水线化结构;片上分页方式的虚拟存储管理部件和片上缓存(Cache)等。近年 CISC 型处理器又有新的进展,集成度高达 120 万个晶体管,性能突破 10MIPS(即每秒执行 1 千万条指令)。例如,80486 为 17MIPS,MC68040 为 13.5MIPS,时钟频率达 25MHz—33MHz。这些处理器在结构设计上较传统设计思想有较大改进。在一块芯片上集中了过去由数种芯片分别独立执行的功能,性能显著提高。其主要改进有下列几方面:

1. 扩大片上缓存容量,大大提高数据传输的有效率。例如 80486 增设了 4KB Cache,MC68040 从原来 256B 扩大到 4KB,并且将原有的逻辑缓存转换为物理缓存。

2. 采用哈佛(Harvard)结构。哈佛结构指机器带有相互独立的数据和程序存储器,并各有其专用总线。MC68040 即是这一类结构,其数据和程序 Cache 各为 4KB,可实现同时访问,消除了访问竞争。

3. 片上转移预测功能。在执行转移指令发生转移的情况下,若以后碰上执行相同的指令,就会自动向上次相同的转移目标地址转移,从而降低了发生转移时的流水线混乱,可提高执行转移指令的速度。

4. 片内配置浮点处理器(FPU),增强了 CPU 运算能力。CPU 和 FPU 做在同一片上还有一个明显优点,就是可以大大缩小信号在两个器件之间的传递距离,从而改善系统的性能。例如 80486 片内配置了相当于 80387 的 FPU,MC68040 则配置了相当于 68882 的 FPU。

5. 基本指令用 1 个时钟周期执行,指令解释不采用微程序,而采用了 RISC 芯片中的接线逻辑,提高了基本指令执行速度。例如,80486、MC68040 在寄存器间的加减运算和逻辑运算指令、寄存器和存储器之间的传送指令均用一个时钟周期执行。而过去则需 2—4 个周期。

6. 增设面向多机的总线监控功能。新近开发的微处理器均具有支持多机系统的功能。但是,在设计多机系统时,必须考虑总线使用率问题。为此,通常做法是给各处理器配置局部 Cache,减少总线访问次数。为了保持主存与缓存的相关性,在主机改写主存时,必须将自身缓存内容立即全部清除。但在多机系统下频繁发生清除缓存则会降低缓存命中率。若能部分清除缓存内容,即只清除发生写入的条目,保留其它条目的现状,就可解决这

问题。该功能叫作总线监控功能。它通过监视系统总线的地址信号和写信号,一旦有写入动作出现,就立即取地址和缓存标识符比较,若命中就清除该条目。这种功能非常有功于多机系统构成,并使软件控制功能硬件化。

今后,CISC型微处理器将继续朝片内集成(过去由数种芯片分别独立承担功能)的方向发展,特别是片内多CPU技术的采用,将使功能显著增强。另外,将采用Bi-CMOS电路技术,外部数据总线扩大为64位,吸取部分RISC技术的优点,扩大缓存容量,增加图像处理电路等,CISC型微处理器将继续稳步发展,预测2000年集成度将达1亿个晶体管。

RISC型处理器不同于CISC型处理器,它是精减指令系统的计算机。其基本特征是:指令简单,固定长度,寻址模式少;大多数指令在1个周期内执行完毕,流水线处理效率高;内部寄存器容量大,所有指令都用到寄存器,对存储器访问少,访问存储器指令简单。由于其结构简单,易于采用VLSI实现,研制周期短,耗资少,故性能价格比高,近十年来有长足的发展。其代表性的产品有SUN Microsystems公司的SPARC/MB86900,MIPS公司的R3000,Motorola公司的MC88000,Intel公司的80860等。RISC型处理器采用了几项新技术:

(1) 采用新型并行处理结构,即Superscalar结构和VLIW(Very Long Instruction Word)结构。它们是RISC技术的延伸。Superscalar是在执行指令时由硬件执行调度(仅调度取出指令),提高并行度,而VLIW是在编译时找出能够并行执行的指令。两者相比,前者硬件复杂一些,后者关键在于编译程序。

(2) 片上配置浮点运算功能,明显增强系统特性。例如80860,不仅配有浮点加法器和浮点乘法器,而且还将这些部件流水线化。

(3) 扩充总线宽度。为了与运算部件处理性能相匹配,不仅外部采用64位数据总线结构,其内部总线也部分实现了64位或128位化,解决了内部并行处理时的总线瓶颈问题。

(4) 采用先进的寄存器自动监视逻辑。这种功能能自动监视并提供寄存器堆中各组寄存器的状态,使程序员不必知道硬件工作细节,也不必查明某一给定时刻每个寄存器的内容,从而大大提高编译程序执行效率。

(5) 面向多机系统的设计。同CISC型微处理器一样,RISC型微处理器也开始面向多机系统,片上增设总线监控功能,使RISC型处理器更加完善,为RISC技术走向大型和巨型计算机系统开辟了道路。

RISC技术发展还将加快。90年代RISC处理器的最大特点是采用先进的CMOS和ECL(发射极耦合逻辑)半导体技术,外部数据总线64位,配置并行功能,并具有三维图像处理功能。预测到2000年,RISC型微处理器性能将达到400—2000MIPS。

## 1.2 计算机系统的功能和结构

### 1.2.1 计算机系统的层次结构

#### 一、计算机系统的功能模型

计算机系统由硬件和软件组成,二者是不可分割的整体。硬件是计算机系统实际装置,是系统的基础和核心(也称为硬核),一般由 CPU、MEM、I/O 接口、BUS 和外部设备等组成,它以机器语言(即指令系统)提供给程序员使用。软件指的是操作系统、汇编程序、编译程序、文本编辑程序、调试程序、数据库管理系统、文字处理系统、诊断程序以及各种应用程序等。其中较低层次的程序与硬件密切相关,而用户在使用高级语言编写程序时基本上已与硬件的实现无关。

一个信息的处理过程可用控制流程的概念来描述。控制流程的实现有三种方法:①全硬件的方法,即用组合逻辑设计方法设计硬件逻辑线路实现控制流程;②硬件与软件相结合的方法,即部分流程由微程序实现而另一部分由硬件逻辑实现;③全软件的方法,即用某种语言按流程算法编制程序实现控制流程。计算机语言的定义是用以描述控制流程的、有一定规则的字符集合称之为计算机语言。计算机使用的语言并不是专属软件范畴,它可以分属计算机系统各个层次,而具有不同的作用。微指令是机器内部最基层一级的语言;机器指令称为机器语言,是面向用户的最基层一级的语言;操作系统的命令从应用的角度来看,也可视作提供给用户使用的某种“语言”,用以建立一个用户的应用环境;符号化的机器指令(包括功能扩充的宏汇编)称为汇编语言;再上一级就是用户通用的高级语言;各种应用领域还有适合自己专用的语言。用户可以在不同层次上用不同语言描述一个信息处理过程,但是,各种语言必须翻译或解释成机器指令才能执行,所以,编译或解释程序是计算机系统不可分割的一部分。基于对语言广义的理解,可以把计算机系统看成是由多级虚拟计算机所组成,从内向外,层层相套,形成“洋葱”式结构的功能模型,如图 1.4 所示。

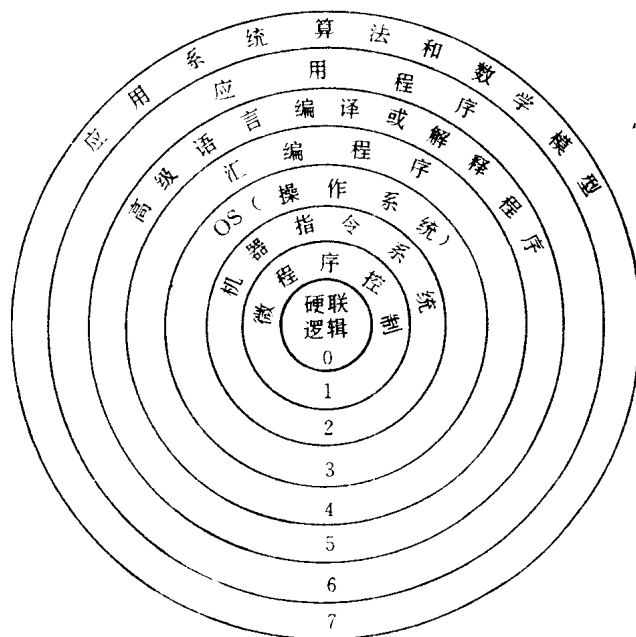


图 1.4 计算机系统功能模型



这个模型的每一层次都是一个虚拟计算机,其作用和组成如图 1.5 所示。所谓虚拟计算机是指这个计算机只对一定观察者而存在,它的功能体现在广义语言上,对该语言提供解释手段,然后作用在信息处理或控制对象上,并从对象上获得必要的状态信息。从某一层次的观察者看来,他只是通过该层次的语言来了解和使用计算机,至于内层如何工作和实现功能就不必关心了。简言之,虚拟计算机即是由软件实现的机器。

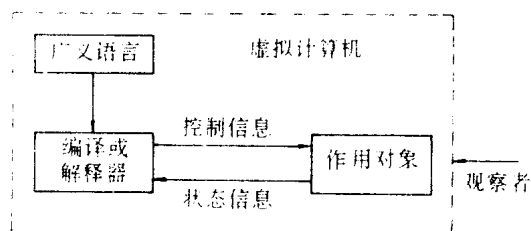


图 1.5 虚拟计算机的作用和组成

## 二、计算机系统的功能层次

用上述虚拟计算机的观点来定义计算机系统,就得到如图 1.6 所示的功能层次,并在各层注有观察者身份。 $M_0$  级为硬联逻辑,是实现微指令本身的控制时序。 $M_1$  级为微程序控制,是对机器指令进行译码,对应一个微指令序列,给出微操作信号, $M_0$  级和  $M_1$  级实现了中央处理机功能。 $M_2$  级为机

器语言计算机,面向用户的是计算机的指令系统。 $M_3$  级为操作系统,为用户提供一个操作环境,提高了计算机系统的功能和资源利用效率。 $M_4$ 、 $M_5$  级为语言类计算机,供程序员使用,基本脱离物理计算机。 $M_6$  级为应用程序,是供非专业人员使用的计算机。 $M_7$  级为应用系统分析和设计,建立数学模型和算法,确定系统配置。

从学科领域来划分,大致可以认为: $M_0$ — $M_2$  级是计算机组织与结构的范围; $M_3$ — $M_5$  级是系统软件的范围; $M_6$  级是应用程序的范围; $M_7$  级是系统总体分析的范围。当然,级之间存在某些交叉。例如  $M_2$  级涉及汇编语言程序设计; $M_3$  级处于硬件向软件过渡; $M_6$  级处于系统软件向应用系统过渡。此外,在特殊计算机系统中,有些级别可能不存在。

总之,我们强调要把计算机系统当作一个整体,它既包含硬件,也包含软件。软件和硬件在逻辑功能上是等效的,即某些操作由软件(也可由硬件)实现,反之亦然,故软、硬件之间没有固定不变的分界面,主要受实际应用的需要及系统性能价格比所支配。图 1.6 所示  $M_1$  级为物理机(硬件)与虚拟机(软件)界面仅对一般而言。从用户来看,机器的速度、可靠性、可维护性是主要的硬件技术指标。具有相同功能的计算机系统,其软、硬件之间的功能分配可以有很大差异。随着组成计算机的基本元器件的发展,其性能不断提高,价格不断下降,因而硬件成本下降。与此同时,随着应用不断发展,软件成本在计算机系统中所占比例不断上升,这就造成了软、硬件之间界面的推移,某些软件完成的工作由硬件去完成,即软件硬化,同时也提高了计算机实际运行速度。

### 1.2.2 计算机系统的特性

计算机系统从功能和结构上都具有明显的多层次性质,已如前述。此外,从不同角度看计算机系统,还具有许多其它重要特性。

#### 一、计算机等级

通常都把计算机系统按其性能与价格的综合指标分为巨型、大型、中型、小型、微型等若干级。但是,随着技术进步,各个等级的计算机性能指标都在不断提高,以至于 30 年前