

实用计算机 体系结构

袁保玑 编著

人民邮电出版社

实用计算机体系结构

袁保玑 编著

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书简要地介绍了计算机体系结构的基本内容及其常用的设计手段，并对各种设计方案进行了评价。全书共分八章，第一章为一般性概述，第二至四章讨论了计算机的信息结构、部件工作方式与控制方式以及多机结构方案；第五至七章阐述了计算机中硬件与软件的关系、人机通信方式以及它的兼容性；第八章从整机的角度介绍了一些提高可靠性的措施。

本书可供从事计算机研制、生产、使用的工程技术人员阅读参考，也可作为计算机及有关专业的教材或教学参考书。

实用计算机体系结构

袁保玢 编著

*

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

天津新华印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

开本：787×1092 1/32 1982年8月第一版

印张：6 8/32页数：100 1982年8月天津第一次印刷

字数：141千字 印数：1—3,500册

统一书号：15045·总2609-有5256

定价：0.66元

前 言

为了向计算机的用户及制造者描绘出一台计算机的全貌，设计人员必须首先根据机器的设计要求和既定指标作出一个总体的规划，包括选用机器的各个部件和设备、提出各主要部件和设备的工作方式以及相互之间的控制关系，并在逻辑上将它们组成一个能够协调动作的整体，我们称这项工作为计算机的“体系结构设计”。一般地说，这项设计基本上决定了机器的总体性能和技术水平。因此，为了寻求合理的设计方案，计算机设计人员必须具备较为完整的体系结构方面的基本知识。

本书力图以浅显的语言介绍通用计算机体系结构设计的基本内容以及常用的设计手段，并从实用的角度出发，对各种设计方案的背景、特点和利弊关系进行了讨论。为了适应从事计算机工作的技术人员的需要，本书还对一些有关的名词和基本概念作了简要介绍。全书共分八章，第一章概要地叙述了什么是计算机体系结构、体系结构设计的主要内容及其设计目标。第二、三、四章着重介绍了一台计算机内部的结构方案。第五、六、七章讨论了计算机中软件与硬件之间的关系、计算机与计算机之间的关系以及人与计算机之间的通信关系。第八章介绍了有关提高计算机可靠性的各种措施。本书的重点是第二、三章，它是体系结构设计中的基本部分。

现代的计算机是一个由软件和硬件共同配合而组成的整体。因此，体系结构设计也必然要从软件和硬件两个角度作统一的考虑。本书还特别注意讨论了各种设计方案的软件支持

硬件支持，以加深读者对这方面的印象。

在本书的编写过程中得到了很多同志的热情指导和帮助，张修同志审阅了全文并提出了很好的修改意见，在此一并表示感谢。

由于编者的水平有限，书中错误和不足之处在所难免，恳切地希望读者批评指正。

目 录

第一章 概述	1
第二章 信息结构	12
第一节 字长.....	13
第二节 信息存取方式.....	16
第三节 编址方案和地址单位.....	21
第四节 数据表示.....	24
第五节 指令系统.....	28
第六节 代码系统.....	47
第三章 部件工作方式与控制方式	51
第一节 外部设备控制方式.....	51
第二节 中断系统.....	61
第三节 内存结构.....	72
第四节 主存空间的分配.....	78
第五节 虚拟存储器.....	88
第六节 主存信息的保护.....	107
第七节 多道程序工作方式.....	111
第八节 高速运算方案的探讨.....	114
第四章 多机结构方案	132
第一节 多机结构方案的提出.....	132
第二节 多机结构的管理.....	136
第五章 硬件、软件与固件	141
第一节 软、硬件之间的功能划线.....	141

第二节 微程序技术与固件	144
第六章 人机通信方式	149
第七章 各种兼容性能及其实现	159
第八章 系统的可靠性	170
第一节 故障的检测及自动校正	171
第二节 故障的处理及系统的恢复	185
结束语	190

第一章 概 述

计算机是一种现代化的快速计算工具，随着科学技术的不断前进，它的工作性能、技术水平正在日益提高，其体系结构也得到不断改善和发展。所谓计算机体系结构，实质上是指计算机的总体功能以及实现这些功能的技术手段，一般地讲，它可从以下两个方面来体现：

从用户（或称程序设计者）的角度来说，体系结构是指“计算机的功能描述”。为了能用机器语言或汇编语言编制出正确的程序，程序设计者必须了解计算机的各项功能，例如指令系统、数据表示、存储容量、编址方案和输入输出设备的使用指标等，它们是计算机体系结构的基本项目。这些项目本身并不涉及到机器的具体实现，在相同的结构方案下，可以由完全不同的器件组成速度指标各不相同的机器，只要给它们配上相同的软件，程序设计者使用机器的手段就可以不变。

从机器设计者的角度来说，体系结构是指“将逻辑元件和部件组成计算机的技术”。在确定了一台计算机的设计指标之后，首先要对这台机器作出一个总体规划，包括选用组成机器的各部件和设备、确定各主要部件和设备的工作方式以及它们之间的控制关系，从而在逻辑上将这些部件和设备连成一个能够协调动作的整体，以达到预定的功能要求，我们将这个设计过程称为计算机的“体系结构设计”。体系结构设计是计算机设计全过程中的第一步，它为用户和参与下一步设计的人员描绘了一台计算机的全貌，以后的各步设计工作均在体系结构方案的约束之下进行。

早在1945年第一台电子计算机研制期间，就由普林斯顿高级研究学院的冯·诺依曼等人 在美国对数字计算机作了理论性的考察，并在此基础上对计算机的结构作了总结，他们所提出的结构设计思想被认为是计算机的“经典结构”，称为“冯·诺依曼结构”，但是，对于这种结构却一直未曾有十分严格的定义。大致说来，它有以下几个要点：

1. 计算机应由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备等五大部件组成。

2. 数据和程序均以二进制代码的形式不加区别地存放在存储器中。

3. 由地址指定信息的存放位置。

4. 由一个指令计数器来控制指令的逐条执行。

数十年来，随着科学技术的不断发展，计算机的应用领域日益扩大，其结构形式也多种多样，但迄今为止，这种经典结构仍然具有强大的生命力，图1-1和1-2是这种经典结构的两个例子。按照习惯的叫法，我们把其中的运算器、控制器和内存存储器的组合称为“主机”或“中央处理机”，把输入设备、输出设备和容量的外存储器称为机器的“外部设备”，当然，为了使计算机能够正常运转，还需要配备电源和通风等设备。机器中各大部件之间的联系可有多种方式，如在图1-1中，整个计算机是以主机为中心的，各大部件之间均有专线传递信息，而在图1-2中，各大部件都连接到一条单一的高速总线上，并通过总线进行相互之间的通讯，也有的机器采用两者的结合或者多总线形式的结构方案。

下面，我们将概要地叙述计算机体系结构设计的主要内容、它们与硬件和软件的关系以及体系结构设计所追求的目标、并结合计算机的发展史阐述各代计算机体系结构的特点。

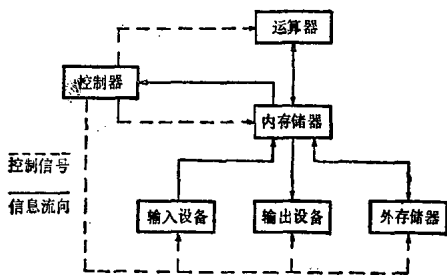


图 1-1 计算机结构框图例 1

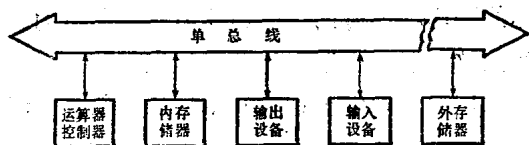


图 1-2 计算机结构框图例 2

一、体系结构设计的具体内容

体系结构设计的具体内容可以归纳为以下几个方面：

1. 选用机器的各个部件和设备，并提出它们的使用指标。
如存储器的品种、容量和存取周期，主机的运算速度，各外部设备的类型、数量和使用方式等。
2. 描述机器的信息结构。
包括机器所定义的信息（指令和数据）类型、表示方式、存取方式、指令功能以及输入输出代码系统等。
3. 确定机器中各主要部件和设备的工作方式及其相互之间的控制关系。

如主机对外部设备的控制方式、主机内部的高速运算结构方案、多级存储的调度方案、存储分配和存储保护方案、多道

程序工作方式和多机结构的控制与管理等。

4. 提出软件和硬件之间的功能划分方案。

5. 考虑各种人机通信手段。

指用户、操作员和维护人员与机器交流信息的方式。

6. 考虑与其它机器兼容的程度和手段。

指该机器中的设备或在该机器上所编制的程序能为多台其它计算机所接受的可能性。

7. 从结构的角提出整机的可靠性指标及各种有关的措施。

如机器的平均稳定时间、检错能力、诊断能力、自恢复能力以及为达到这些能力所采取的各种相应措施。

以上的第1~4点确定了计算机本身的性能指标和工作原理，第5、6点提出了该计算机与使用人员和维护人员的关系以及该台计算机与其它计算机之间的关系，第7点为整机的可靠运行提供了保证。

二、体系结构设计 with 软件和硬件之间的关系

早期的计算机仅由电子设备和机械设备组成，而无其它装置，我们把它称为“裸机”或“光机”，它只能供给受过专门训练的用户使用。但是，随着计算机工业的发展，一方面机器内部的结构越来越复杂、运算速度越来越高，如果用户还在机外手动地管理机器，则将会使机器的使用效率大大降低；另一方面，计算机的用户又越来越多，甚至许多根本不了解机器的用户也要使用，因此，这种早期的计算机就远远不能满足人们的需要了。

为了填补用户与裸机之间的越来越大的“鸿沟”，设计人员设法将机器加以扩充，他们利用计算机能够执行指令的性

能，为机器编制了一整套程序系统，其中包括操作系统、实用程序和应用程序等项目。操作系统既是计算机的“管家”，又是用户和机器之间的接口；实用程序是由操作系统控制的各种子系统，它们协助计算机的维护和操作，并为用户提供一些简便的上机手段，各种语言编译程序、诊断程序、数据管理程序等均属于实用程序的范畴；应用程序则是针对各计算机所特定的使用对象而编制的程序，作解决特定问题（如银行存款、取款）之用。

这套程序系统也是机器的一种设备，我们称之为“软设备”，简称“软件”，而将机器中的其它设备称为“硬设备”，简称“硬件”。现代的计算机是由软件和硬件所共同组成的统一的整体，在体系结构设计中，必须同时考虑这两个方面的因素。

体系结构设计本身并不设计具体的软件或硬件，而只是从逻辑上描绘一台（由软件和硬件所共同组成的）计算机的基本面貌及其工作原理，其设计思想主要来源于应用的需要，它的设计基础是软件和硬件两个方面的技术水平，软件技术和硬件技术是实现这些设计思想的手段——也就是说，这些设计思想只有通过软件技术和硬件技术的组合才能得到真正的计算机软件和硬件。

三、各代计算机体系结构的特点

前面已经提到，体系结构是指从用户角度所看到的计算机的功能，它的设计思想主要来源于应用，因此，体系结构与应用的关系是十分密切的，然而，体系结构方案的实现又必须由相应的软件技术和硬件技术来保证。可以看到，每当新的元、器件（如晶体管、集成电路）出现后，体系结构也必然随之产生新的变革，以适应更广泛的应用领域，同样新的应用要求又

推动了体系结构的进一步发展。

计算机的应用大致可分为科学计算、数据处理和实时控制三大类。

科学计算是指以科学技术领域中的问题为主的数值计算，从计算机的角度来看，它的主要特点是输入输出信息量小、计算量大、而计算时间长。这类计算机要求具有高速度的运算器、大容量的存储器和多种浮点运算的能力。

数据处理一般泛指非科技工程方面的所有计算、管理和对各种形式的资料的使用，例如企业管理、库存管理、报表统计、账目计算和情报检索等，从计算机的角度来看，它的主要特点是输入和输出的信息量很大而计算量相对较小，存储数据所需要的空间远远大于操纵这些数据程序所需要的空间。这类计算机要求具有大容量的存储器、灵活的成批字符处理和十进制运算的能力以及快速度、强功能的各种输入输出设备。

实时控制是指计算机在某一个物理过程、某一事件或现象发生的同时接受有关的数据并进行即时处理，其处理结果再返回去控制该过程、事件或现象。如在钢铁工业或炼油工业中就可以用计算机来自动控制生产过程，这些控制对象定时或不定时地向机器发出实时信号，并要求机器在约定的（一般是极短的）时间内给予回答。这类计算机要求设有输入实时信号的通道、具有快速的多级中断处理能力和较高的可靠性。

当然，需要用计算机进行处理的每一个问题都要化为一个对应的程序进入机器，这个程序及其所控制的数据一起，称为计算机中的一个“作业”。

在五十年代，计算机正处于电子管时代，它主要应用于科学计算，用户利用机器所提供的指令编制程序，并亲自在控制台上操作。计算机每次只能容纳一个作业，或依次逐个处理的

一批作业，我们分别称这两种作业控制方式为“单道处理”和“单道成批处理”。这一代计算机体系结构的特点是：运算对象为固定长度的数据、能作定点或浮点运算、每条指令中有一至四个地址、外部设备与主机串行工作。

在五十年代末六十年代中，计算机进入晶体管时代，与电子管计算机相比，其性能价格比*差不多增加了五至十倍，在这样的基础上，大大开扩了计算机的应用领域，除了作科学计算以外，计算机开始应用于数据处理，它的外部设备品种和数量显著增加、操作系统逐步完善、用符号表示的汇编语言已经普及、高级程序语言开始提供使用、作业控制方式由单道成批处理发展为多个作业的同时处理，称为“多道成批处理”。与此同时，也开始尝试让计算机连接多个用户控制台或终端设备，使一台中央处理机能同时与多个用户对话，并在极短的时间（如3秒钟）之内快速响应用户的要求，这种作业控制方式称为“分时处理”。这一代计算机体系结构的特点是：运算对象或者是固定长度的数据（以科学计算为主）或者是不定长度的字符集合（以数据处理为主）、增加了字符运算的功能、每条指令中只有一个地址、外部设备与主机并行工作，从而引进了缓冲、中断、分时等技术手段，并为多道处理的控制方式提供了相应的存储分配与信息保护措施。

在六十年代中七十年代初，计算机处于以中、小规模集成电路为主的时期，在这段时期中，计算机的性能价格比有了飞跃的提高，它的应用领域已经深入到商业、工厂、企业、科研和国防等各个部门，成为人类生活中一种不可缺少的工具。除了成批处理和分时处理之外，计算机还被用作“实时处理”，包

*性能价格比——一种衡量计算机性能的概括性指标，用“性能指数/机器售价”来计算。

括实时信息处理（如飞机订票）和实时控制等。这一代计算机体系结构的特点是：能同时应付成批处理、分时处理和实时处理的高速、大型、通用电子计算机开始出现，它们既能对固定长度的数进行定、浮点运算，又能对不定长度的字符集合作灵活的处理，外部设备以通道方式完全独立于主机而工作，软硬结合的多道处理控制方式、多处理机结构、虚拟存储器等方案相继产生。与此同时，开始考虑计算机之间的交往，具有程序一级兼容性能的计算机序列研制成功，并通过数据通信线路将多台计算机连接起来建成计算机网，计算机所使用的代码系统的标准化，各种设备接口的标准化和语言文本的标准化也开始考虑了。

七十年代以后，大规模和超大规模集成电路相继出现，在这种元件的基础上，一方面有可能组装速度更快，容量更大的大型通用机，另一方面也可以制造出体积更小、功耗更低的小型计算机和微型计算机，计算机的可靠性也必将进一步提高。从体系结构的角度的角度，可以更多地考虑将若干个价格低廉的微处理机组合成一个处理系统取代价格昂贵、结构复杂的主机，或者将整个计算机的各部分功能分散到多个结构简单的微处理机中去，从而期望大幅度地提高机器的性能价格比。与此同时，人们还正在研究与现有计算机结构不同的新型机器，如间接地或直接地实现高级语言的机器等等。

四、体系结构设计的目标

计算机总的性能指标是要追求R(Reliability, 可靠性)A(Availability, 可用性)S(Serviceability, 可维护性)，在“三性”的基础上，力求更大的存储容量、更高的运算速度和更低廉的造价。

计算机的可靠性，是指计算机本身或计算机中某部件能稳定工作的程度，一般用“平均稳定时间”来衡量：

$$\text{平均稳定时间} = \frac{\text{连续交付使用的总时间}}{\text{该段时间内所发生的故障次数} + 1}$$

计算机的可维护性，是指维护计算机或计算机中某部件的方便程度，一般用“平均修复时间”来衡量：

$$\text{平均修复时间} = \frac{\text{修复各种故障所化的总时间}}{\text{故障次数}}$$

计算机的可用性，是指计算机能接受并可靠地处理作业的能力，衡量可用性的一个常用指标是：

$$\frac{\text{平均稳定时间}}{\text{平均稳定时间} + \text{平均修复时间}}$$

五、如何进行体系结构设计

体系结构设计的第一步工作是作广泛的调查研究，调查的主要内容可归纳为以下三个方面：

1. 用户对计算机的要求

这些要求是从应用的角度提出的，它们是形成体系结构方案的重要依据，具体说来，可有以下几点：

内存和外存的容量

累加器和变址器的数量

主机的运算速度

指令系统的功能

各种数据的表示形式

输入输出符号集

外部设备的品种和数量

用户使用机器的方式
与其它机器兼容的程度
机器的可靠性指标等

设计人员应该和用户一起，对典型的题目进行分析，并设想它们在机器上运行的情况，从而总结出用户对计算机的功能要求。

2. 软件设计人员对计算机的要求

软件本身也是程序，因此，从运行程序的角度来说，它与用户程序有相类似的各种需求，如容量、速度、指令功能、数据表示、操作员的工作方式、外部设备的数量和品种以及计算机的可靠性指标等。除此之外，由于软件还担负着管理机器的任务，因此，它需要机器提供一些有特殊功能的指令，并为这部分软件的运行定义专用的机器状态。体系结构设计中的许多项目（如中断系统、存储分配与存储信息的保护等）都是由软件和硬件共同支持而得以实现的，它们之间的分工也需要与软件设计人员协商。

3. 当前所能提供的元、器件和部件的使用指标、使用方式和可靠程度

前面两点讨论了从使用机器的角度出发对机器性能的需求，但这种需求还必须与第三点中所提供的现实的可能性结合起来，以制定出既符合使用要求又切合实际的机器方案。

在调查研究的基础上，首先要大致确定机器的几个基本指标——字长、内存储容量和主机速度的范围，并选择组成机器的各种存储设备和外部设备。在选择的过程中，要充分考虑“需要”和“可能”两个方面的因素，使各设备的指标能够互