



高等学校教材

电子信息系列

航空计算机 系统与应用

主 编 宋 东

副主编 李红娟

*Electronic
Information*

9 西北工业大学出版社



航空计算机系统与应用

主 编 宋 东
副主编 李红娟

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书全面介绍了计算机系统在航空领域中的应用知识。全书分为 10 章。前两章介绍了计算机系统结构、通用计算机系统、计算机通信与网络等计算机的基础知识。在此基础上,第 3~7 章分别介绍了机载数据总线、大气数据计算机、飞行管理计算机、飞行控制计算机、飞机信息管理系统等典型的机载计算机系统。第 8~10 章通过介绍自动测试计算机、民航计算机信息管理系统等方面的知识,阐述了计算机在航空地面设施中的应用方法。本书适合作为高等学校有关专业的教材,也可供从事计算机与航空专业的各类技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

航空计算机系统与应用/宋东主编. —西安:西北工业大学出版社,2002.8
ISBN 7-5612-1475-8

I. 航… II. 宋… III. 计算机应用—航空—高等学校—教材 IV. V2-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 052954 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072 电话:(029)8493844

网 址:<http://www.nwpup.com>

印刷者:西安兰翔印刷厂

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:19

字 数:459 千字

版 次:2002 年 8 月第 1 版 2002 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1~2 000 册

定 价:24.00 元

前 言

自 20 世纪 80 年代以来,随着电子技术的迅速发展,现代飞机大量采用了新型的先进电子设备,使飞机机载电子、电气设备发生了重大的变革,使航空企业从管理、生产到人员培训等各个方面都发生了重大的变化。这场变化的主角就是计算机。本书重点介绍对这场变革起关键作用的航空计算机技术。

在有限的篇幅内,本教材力求全面介绍计算机技术在航空领域中的应用。全书分为 3 部分共 10 章。第 1 部分(1,2 章)从计算机系统结构、计算机通信到计算机网络介绍了构成计算机系统的各个方面。第 2 部分(3~7 章)介绍了机载数据总线和几种典型的机载计算机系统。第 3 部分(8~10 章)介绍了在航空领域地面应用的计算机系统,有自动测试系统、计算机信息管理系统和计算机培训系统等。

全书由宋东任主编,第 5,7 章由李红娟编写,其余部分由宋东编写。在本书的编写过程中,得到了西北工业大学民航工程学院同事们的大力协助,在此表示衷心的感谢。

由于资料缺乏,加之编者水平有限,书中难免有错漏之处,恳请读者批评指正。

编 者

2001 年 4 月

目 录

第 1 章 计算机系统概论	1
§ 1.1 概述	1
§ 1.2 计算机系统结构	4
§ 1.3 通用计算机与专用计算机	20
思考题	43
第 2 章 计算机通信与计算机网络	44
§ 2.1 数据通信的基础知识	44
§ 2.2 PC 机常用通信方法	54
§ 2.3 计算机网络的基础知识	59
§ 2.4 计算机网络的结构	63
§ 2.5 局域网技术	68
§ 2.6 网络互连技术	77
§ 2.7 TCP/IP 协议	83
思考题	98
第 3 章 机载数据总线和机内自测试	99
§ 3.1 机载数据总线概述	99
§ 3.2 ARINC 429 数据总线	101
§ 3.3 ARINC 629 数据总线	112
§ 3.4 机内自测试(BIT)技术	117
思考题	124
第 4 章 飞行状态和数据处理类计算机系统	125
§ 4.1 大气数据计算机系统	125
§ 4.2 近地警告计算机	136
§ 4.3 发动机指示和机组警告系统计算机	143
思考题	154

第 5 章 飞行管理计算机系统	155
§ 5.1 飞行管理计算机系统的功能	155
§ 5.2 FMC 的输入、输出接口	157
§ 5.3 飞行管理计算机系统构成	160
§ 5.4 控制显示组件构成	164
§ 5.5 FMC 双系统工件原理	170
§ 5.6 飞行管理计算机系统自检	171
思考题	182
第 6 章 飞行控制计算机	183
§ 6.1 数字式飞行控制系统简介	183
§ 6.2 FCS—700 飞行控制系统	185
§ 6.3 FCC—701 飞行控制计算机	187
思考题	195
第 7 章 飞机信息管理系统	197
§ 7.1 飞机信息管理系统概述	197
§ 7.2 AIMS 机箱供电情况	201
§ 7.3 AIMS 机箱背板数据总线	202
§ 7.4 输入/输出模块功能描述	202
§ 7.5 核心处理模块功能描述	206
§ 7.6 数据转换网关功能	212
§ 7.7 协调世界时功能	214
§ 7.8 AIMS 软件功能描述	215
§ 7.9 AIMS 测试	217
§ 7.10 缩写词	219
思考题	220
第 8 章 自动测试计算机系统	221
§ 8.1 ATE 的功能和组成	221
§ 8.2 基于 VXI 总线的自动测试系统	227
§ 8.3 自动测试系统实例	233
§ 8.4 ATE 在我国民航的应用现状和发展方向	237
思考题	240
第 9 章 民航计算机信息管理系统	241
§ 9.1 民航总局管理信息系统	241
§ 9.2 航空公司计算机信息系统结构	251

§ 9.3 民航机场计算机管理信息系统	258
思考题	268
第 10 章 计算机培训系统在民航中的应用	269
§ 10.1 航空仿真技术	269
§ 10.2 全飞行模拟机计算机系统	274
§ 10.3 CAI 和 CBT	282
思考题	286
附录	287
参考文献	294

第 1 章 计算机系统概论

§ 1.1 概 述

1946 年,世界上第一台电子计算机 ENIAC 诞生。电子计算机的发展历史,按其所使用的主要器件可划分为 5 代:第 1 代计算机(20 世纪 40 年代中期~50 年代后期),主要器件是电子管;第 2 代计算机(20 世纪 50 年代后~60 年代中期),主要器件是晶体管;第 3 代计算机(20 世纪 60 年代中期开始),主要器件是集成电路(Integrated Circuit; IC);第 4 代计算机(从 20 世纪 70 年代初期开始),主要器件是大规模集成电路(Large-Scale Integration; LSI)。此外,第 5 代计算机被认为是使用超大规模集成电路(Super-Large-Scale Integration; SLSI)、具有智能的计算机。

随着计算机元、器件的更新换代,软件也发展很快。从简单的机器语言、汇编语言开始,发展到高级语言、操作系统等庞大而丰富的系统软件。经过 40 多年的发展,现代的计算机与第一台计算机相比,无论是硬件、软件,还是计算机系统结构均发生了巨大的变化。

从计算机的功能来看,计算机可实现的机器操作已从简单的加法和移位发展到能对各种数据类型进行各种算术逻辑运算以及各种控制操作,机器指令也由单一的几种操作发展到具备完整功能的现代指令系统;从计算机的组成来看,现代的计算机又扩充了许多种功能部件,例如通用寄存器组、堆栈、中断系统、总线、高速缓冲存储器、辅助存储器、各种具有不同功能的输入输出设备及其接口、通道、外围处理机、通信控制器、通信设备、显示终端、远程终端等,计算机的系统结构也由原先的以中央处理机为中心的结构发展到以总线为中心和以存储器为中心的结构,由原来的单机结构发展到各种形式的多机结构,从而大大提高了系统的效率;从计算机的性能来看,主机的运算速度由一开始的每秒 5 千次提高到 1 亿次以上,主机的存储容量也已达到几兆或几百兆字节,计算机的可靠性也大大提高;从系统软件来看,计算机的系统软件从无到有,现代计算机都配置了极丰富的系统程序,例如汇编语言、高级语言、操作系统、各种方便用户的服务性程序、数据库管理系统以及随着计算机网络的发展而出现的网络软件等等。

计算机系统是由硬件(Hardware)和软件(Software)两部分组成的。计算机系统硬件包括:中央处理机(CPU)、主存储器、输入输出设备(包括终端设备和通信设备)以及外存储器(如磁盘、磁带等)。计算机系统软件包括:操作系统、编译程序和解释程序、语言(如 BASIC, PASCAL, C, 汇编语言等)和语言处理程序以及实用程序等等。除上述硬件和软件外,还有一种器件称之为固件(Firmware)。固件是具有软件功能的硬件,即用硬件来实现某

些软件功能。从执行速度、灵活性等方面来看,固件介于硬件和软件之间。

从逻辑角度来讲,计算机硬件和软件的功能是等效的,即软件的某些功能可由硬件来实现,而硬件的某些功能也可由软件来实现。而事实也是这样,在计算机的发展过程中,硬件和软件的分界面一直都在不断地变化着,例如早期的计算机没有乘、除法指令,要进行乘除运算需编制一段子程序,以后,在计算机设计中,乘除运算可由硬件部件直接来完成。又如,对于浮点运算等操作,在大、中型机中是用硬件来完成的,而在一般小型机和微型机上则可用软件来实现。

在本书的第一章中,重点从硬件的角度上来介绍计算机系统,介绍了计算机的系统结构和目前应用广泛的计算机系统。为后面讲述计算机系统在航空领域中的应用打下一个良好的基础。

计算机,特别是微型计算机已成为现代航空航天工程最重要的技术装备之一。用于航空工程的计算机可分为地面用和飞行器用两大类。地面用计算机多为通用型电子计算机;而飞行器用计算机则多为分系统使用的专用微机。在 20 世纪 80 年代初期投入使用的民航飞机各机载设备,大多采用了通用的微处理器作为它的中央处理器(CPU)。

现代飞机机载电子设备、电气设备对微机的应用是相当普遍的,诸如大气数据计算机、电子飞行仪表、推力管理计算机、飞行控制计算机、导航计算机、发动机显示与机组警告系统、中央维护监控计算机、飞行数据采集系统及飞行管理计算机系统等。计算机在现代飞机上的这些应用,使得民用飞机的操纵、控制、导航、通信、仪器显示、发动机管理、客舱环境控制等各个系统在技术上来了个大变革,大型客机上使空勤组成员减少了一半,取代了一部分笨重的机电式控制系统、液压式控制系统和冷气式控制系统,极大地减轻了飞机重量,提高了安全性和可靠性。

在民用飞机上装载的微型计算机,要求是比较高的,具体有以下几点:

(1)能在恶劣的环境下正常工作:如能在较大的温度变化范围($-60\sim+60^{\circ}\text{C}$),冲击过载高达 40 g,以及振动、潮湿、盐雾、电磁干扰、空间粒子辐射和核辐射等条件下工作。为此要采用经过严格筛选的元器件。

(2)体积小、重量轻、功耗低:现代飞机所用微机多以大规模或超大规模集成芯片的 CPU 为核心,并已开始采用单片微机和二次集成微机。CMOS 集成芯片功耗低,可靠性高,是现代机载电子计算机较理想的元器件。

(3)工作可靠、性能稳定:现代大型客机价格昂贵,在飞行中无法维修,计算机一旦失效,后果严重。为保证其工作可靠,除采用高可靠性器件之外,还须采用冗余技术、自检检测和监控技术,采用多微机构成容忍出错的计算机系统,且能自动检测、诊断故障,自行改组计算机结构,保持总系统正常工作。

(4)实时性强:飞机速度快,飞行环境和飞机姿态也瞬息多变,因此飞机上的微机应当能够实时地采集数据进行运算,实施控制。它的数据采样间隔时间一般仅为几毫秒至几十毫秒,计算周期等于采样间隔时间或是它的几倍。随着飞行器性能的提高,需要运算和处理的数据信息不断增多,也要求计算机有更高的运算处理速度。

目前,在飞机上应用的微机系统主要有两种结构形式:一是独立的单功能计算机,如导航计算机、大气数据计算机等;二是分布式计算机系统,如飞行管理计算机系统等。

若按字长来说的话,目前在飞机上应用的有 4 位机、8 位机、16 位机和 32 位机;按结构来

分,可分为单片机、多片机、单板机及多板机;如按微机的应用范围来划分,则可分为专用4位机、通用8~16位机、分布式8~16位机、集中式16位机等等。例如在波音767飞机上有51个系统使用了CPU,为了安全可靠,许多重要系统配置了2~3套冗余系统,整个飞机使用的CPU共有170多个,其中4位机有2个,8位机138个,12位机2个,16位机31个。所用CPU的型别有:MC6800,Z80,8085A,8086,Z8001,Z8002,SDP-175,MDP-6301,LS-54 III B, TI-SB9989等等。

根据飞机各系统应用微机的情况,可按用途划分为以下几种:

(1)数据处理微机:数据处理微机接收基本参数传感器输来的数据,经过微机运算处理形成一系列信号输出,供其他系统使用。在民用飞机上装配的惯性基准系统(IRS)和大气数据计算机(ADC)就是数据处理微机的典型实例。

(2)实时控制微机:实时控制就是利用计算机作为自动控制系统中的一个信息处理环节,通过对预定的数学模型的计算,实现对系统的控制,使操作过程自动化。在民用客机上用于实时控制的微机系统是较多的,如:电子推进控制系统(EPCS),它是一个全功能的微机控制系统,它能完成从发动机启动到停车期间,控制发动机变量;控制推力值和方向;完成自动推力补偿,计算并输出发动机工作特性和数据;自动进行故障检测,隔离和调节;燃油和滑油温度管理等工作。

自动飞行控制系统(AFCS),根据其他系统所提供的数据进行综合运算,产生飞机爬高、下降、倾斜转弯等操纵指令输给自动驾驶仪的各舵机,自动驾驶飞机按要求的航向和高度层飞行。

自动油门系统(A/T),飞行管理计算机(FMC)向A/T计算机输送飞机爬高、巡航和复飞的发动机推力值、飞机全重、FMC要求高度和设定空气温度等信号。A/T计算机根据由FMC输来的这些信号进行运算后形成油门位置指令信号输给油门杆机构,使油门杆自动处于正确的位置以产生符合要求的推力。

环境控制系统(ECS),采用微机对飞机座舱环境进行实时控制、保证乘员有个正常舒适的生活环境。

此外,还有数字式防滑刹车系统等。

(3)飞机信息显示微机:电子飞行仪表系统(EFIS)是飞行信息显示微机的典型代表。EFIS的中心组件是3台由微机控制的符号发生器(SG),这3台SG通过数据传输总线几乎连接到飞机上所有其他的电子系统。微机控制的SG接收惯性基准系统(IRS)、大气数据计算机(ADC)、飞行控制计算机(FCC)、推力管理计算机(TMC)、飞行增稳计算机(FAC)、飞行控制组件(FCU)、全向信标(VOR)、仪表着陆系统(ILS)、低高度无线电高度表(LRRA),自动定向仪(ADF)、飞行告警计算机(FWC)、飞行管理计算机(FMC)、测距机(DME)、气象雷达(WR)及离散输入信号,由微机对这些信号进行处理以产生所需要的图形符号,并把这些数字式符号换成模拟式视频信号,再输给主飞行显示器(PFD)和导航显示器(ND)的彩色CRT显示。

(4)信息存储/监控式微机:信息存储计算机可存储其他系统的信息或与其相连的监控组件的信息,存储的信息可以显示出来或供使用人员查阅。发动机指示和机组告警系统(EICAS)、电子中央监控系统(ECAM),就是其典型代表。

(5)人机交互管理用微机:它是在使用时人和微机能相互联系与“对话”的微机。使用它的人可以通过操纵键盘上的开关按钮与计算机通信联系,计算机将按着使用者的意图自动工作,

可将处理的的数据在 CRT 上显示告诉使用者,也可将数据输出给其他系统实施管理控制。飞行管理计算机系统(FMCS)和中央维护计算机系统(CMCS)就是其典型应用实例,在后面将予以详述。

以上简要介绍了计算机在航空领域的应用现状,以后将对几个典型的机载计算机系统做详细论述。

§ 1.2 计算机系统结构

计算机系统结构(Computer Architecture)包括下列两方面的含义,其一是从计算机设计者角度来看,就是如何用计算机的逻辑元件等组成一台计算机,它不包括具体的逻辑线路及其工程实现;其二是从程序设计者角度来看,就是如何利用计算机的硬件系统来实现所要求的计算机的功能。

1.2.1 计算机的多级层次结构

计算机的层次结构是从使用语言的角度上把计算机系统看成是按功能划分的多级层次结构。

随着计算机系统的发展计算机语言经历了机器语言(二进制机器指令系统)、汇编语言、高级语言、应用语言这样一个由低级向高级发展的过程,后者均以前者为基础,又比前者功能更强,使用更方便。从这个意义上讲,计算机语言可以分成若干层或级,最低层的语言功能最简单。对使用某一层(级)语言编程的程序员来讲,只要遵守该级语言的规定,所编写出的程序总是可以在机器上运行并获得结果,而不必考虑程序在机器中究意是怎样执行的,就好像他有了一台直接使用这种语言作为其机器语言的计算机一样。

因此,一个现代的计算机系统可以从功能上看成是如图 1.1 所示形式的多级层次结构。图中每级对应一类机器,各有其自己的机器语言。在这里,“机器”被定义为能存储和执行程序的算法和数据结构的集合体。各级机器的算法和数据结构的实现方法不同,目前来看,M0 是硬件实现,M1 是微程序(固件)实现,M2 及 M4 大多是软件实现的。我们称由软件实现的机器为虚拟机器,以区别于由硬件或固件实现的实际机器。要注意,机器的实现和题目的得到解答不是一回事,后者要从你用那级开始逐级变,直至到达最低级,它需经硬件实现才能得到;而前者主要表现为如何把该级的程序或是译成比它低级的语言的程序,或是由低级的程序所解释。虚拟机器也不一定全都由软件实现,有些操作也可能是用固件或硬件实现,如操作系统中的某些命令可以由比它低二级的微程序解释。甚至可以设想直接用微程序或硬件来实现高级语言机器,直接用固件来实现操作系统机器。

从概念和功能上把一个复杂的计算机系统看

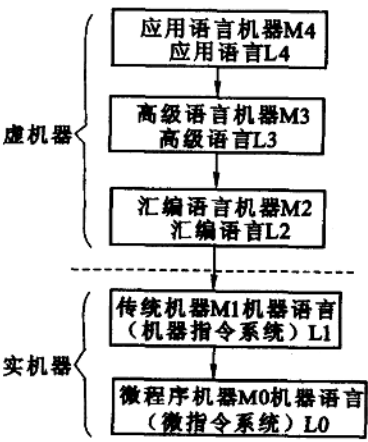


图 1.1 计算机系统的多级层次结构

成是由多级构成的层次结构有利于正确理解软件、硬件、固件在计算机系统中的地位 and 作用。可以看出,微程序机器级、传统机器级,不是直接为应用程序员解题设计的,主要是为运行支持更高层次机器级程序所必须的解释程序和翻译程序而设计的,以便能设计和实现新的虚拟机级,然而,汇编语言机器级、高级语言机器级、应用语言机器级则主要是为应用程序设计人员求解问题设计的。这也有助于理解各种语言的实质和实现途径。计算机语言已越来越接近于人的自然语言以便于人们使用,然而却总是通过翻译成低级的语言,或由低级语言解释来实现。为了便于翻译和解释,相邻级语言的语义差距就不能太大。

1.2.2 计算机系统结构、组成与实现

计算机系统结构(Computer Architecture)也称计算机体系结构。是指机器语言一级程序设计员所看到的计算机的属性。即程序员为编写出能在机器上正确运行的程序所必须了解到的概念性结构和功能特性。

因此在此所讲的计算机系统结构,指的就是图 1.1 中传统机器级的系统结构。

其界面之上的功能指的是所有软件的功能,即包括操作系统级、汇编语言级、高级语言级和应用语言级的所有功能。界面之下的功能指的是所有硬件和固件的功能。因此,这个界面实际上是软件与硬件/固件的界面,如图 1.2 所示。

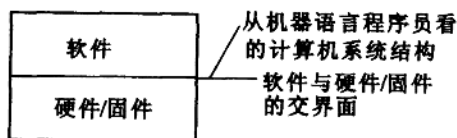


图 1.2 计算机系统结构是软、硬/固件的界面

对于目前的通用型机器,计算机系统结构一般包括:

- (1)数据表示(硬件能直接识别和处理的数据类型和格式等);
- (2)寻址方式(包括最小寻址单位,寻址方式的种类、表示和地址计算等);
- (3)寄存器组织(包括操作数寄存器、变址寄存器、控制寄存器及某些专用寄存器的定义、数量和使用约定);
- (4)指令系统(包括机器指令的操作类型和格式、指令间的排序方式和控制机构等);
- (5)存储系统(包括最小编址单位、编址方式、主存容量、最大可编址空间等);
- (6)中断机构(中断的类型、中断分级、中断处理程序的功能和入口地址等);
- (7)机器级的 I/O 结构(包括 I/O 的联结方式、设备的访问方式、数据的“源”、“目的”及数据传送量、操作的结束与出错指示等);
- (8)信息保护(包括保护方式、硬件对信息保护的支持等);等等。

计算机组成(Computer Organization)指的是计算机系统结构的逻辑实现,包括机器级内的数据流和控制流的组成以及逻辑设计等。它着眼于机器级内各事件的排序方式与控制机构、各部件的功能以及各部件间的关系。

计算机实现(Computer Implementation)则指的是计算机组成的物理实现,包括处理机、主存等部件的物理结构,器件的集成度和速度,器件、模块、插件、底板的划分与连接,专用器件的设计,微组装技术,信号传输,电源、冷却及整机装配技术等。它着眼于器件技术和微组装技术,其中,器件技术在实现技术中起着主导作用。

下面我们举例说明什么是计算机系统结构、计算机组成和计算机实现。

例如,指令系统的确定属计算机系统结构,指令的实现,如取指令、取操作数、运算、送结果等的具体操作及其排序方式属计算机组成,而实现这些指令功能的具体电路、器件的设计及装配技术等则属计算机实现。

又如,确定是否要有乘法指令属计算机系统结构,乘法指令是用专门的乘法器实现,还是经加法器用重复的相加和右移操作来实现属计算机组成,而乘法器,加法器的物理实现,如器件的选定(包括器件集成度、类型、数量和使用何种价格的器件等的确定)及所用微组装技术等则属计算机实现。

再如,对主存系统,主存容量与编址方式(按位、按字节还是按字访问等)的确定属计算机系统结构,为要达到拟定的性能价格比,主存速度应多快,在逻辑结构上需采用什么措施(如多体交叉存储等)属计算机组成,而主存系统的物理实现,如存储器器件的选定、逻辑电路的设计、微组装技术的选定则属计算机实现。

可以看出,具有相同结构(如指令系统相同)的计算机可以因为速度要求不同等因素而采用不同的组成。同样,一种计算机组成可以采用多种不同的计算机实现。由此,形成了系列机的思想。

所谓系列机思想是在计算机设计过程中在软硬界面上确定好一种系统结构后,软件设计者按此设计软件,硬件设计者根据机器速度、性能、价格的不同,选择不同器件,采用不同的硬件技术和组成、实现技术、研制并提供不同档次的机器。

采用系列机思想后,能比较好地解决软件环境要求相对稳定和器件、硬件技术迅速发展的矛盾。软件环境相对稳定就可以不断积累、丰富、完善软件,使软件产量、质量不断提高,同时又能不断采用新的器件和硬件技术,使之短期内即可提供新的、性能不断提高的机器。

由于系列内各档机器从程序设计者看都具有相同的机器属性,因此按这个属性编制的机器语言程序以及编译程序都能不加修改地通用于各档机器,我们称这种情况下的各档机器是软件兼容的(Software Compatibility),它们的区别仅在于运行所需时间不同。可见,这里的软件兼容是通过采用相同的系统结构来实现的。

一般来说,一个系列内部不同档次的机器之间软件是可以兼容的,但这并不是绝对的、无条件的。实际上软件兼容从速度和性能上考虑尚有向上兼容和向下兼容的不同。所谓向上(下)兼容指的是按某档机器编制的软件,不加修改就能运行于比它高(低)档的机器上,同一系列内的软件一般可以做到向上兼容,但向下兼容就不一定,特别是与机器速度有关的实时性软件向下兼容就难以做到。而低档机器上的软件在高档机器上运行一般总是可以通得过的,只是机器效率没有得到充分发挥而已。

软件兼容又有向前兼容和向后兼容之分。所谓向前(后)兼容指的是在按某个时期投入市场的该型号机器上编制的软件,不加修改就能运行于在它之前(后)投入市场的机器上。让现在编制的程序为以后都能用,这是系列机软件兼容的最基本要求和特征。也就是说,系列机软件必须保证做到向后兼容,至于之后的软件完全可以发展,即不一定非要向前兼容,在此基础上力争做到向上兼容。

系列机概念对计算机工业的迅速发展起了很好的推动作用,机器在不断地更新,而软件却仍可照搬使用。目前,为保证新的系统结构有长的生命力,这种系列机概念和软件兼容性约束仍然是我们设计新机器或新系列机时必须遵循的。以微型机为例,最初几年出现了数百种型号的机器,它们在设计时根本未考虑向上和向前兼容,就是向后兼容也因为未积累起较

多的应用软件而未放在首位。但是,随后的发展实践教育了人们,各种档次的 CPU 应该兼容。所以 Intel 公司和 Motorola 公司从 16 位 CPU 开始就注意让后续产品与先期产品保持兼容。像 Intel 的 8086/8088, 80186, 80286, 80386, 80486, Pentium 和 Motorola 的 68000/68008, 68010, 68020, 68030 等在指令系统和汇编语言上都是向后和向上兼容的。

1.2.3 计算系统分类

随着电子计算机技术的发展,计算机的系统结构正在不断地演变和发展之中,在发展硬件技术的同时,人们也希望通过改进系统结构以提高运算速度、性能及灵活性等。

1. 早期结构

早期计算机的典型结构由控制器、运算器、主存储器和输入输出设备组成。它的特点是以控制器和运算器为中心,各部件的操作是串行的,整个系统的工作效率比较低。

2. 以主存储器为中心的结构

这种结构的特点是以主存储器为中心,并用通道控制数据信息的输入输出。如图 1.3 所示。

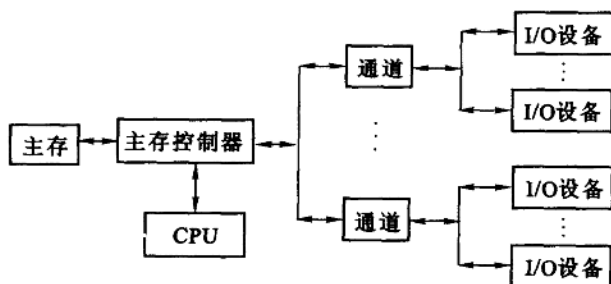


图 1.3 以主存储器为中心的结构

3. 以总线为中心的结构

在微型计算机中一般采用此种结构,如图 1.4 所示。其特点是所有主要部件通过高速总线连接起来实现信息传输。

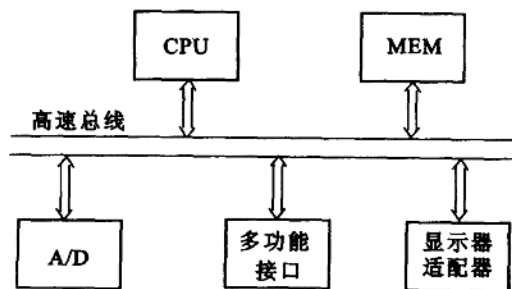


图 1.4 以总线为中心的结构

以上这 3 种类型的计算机,也叫单指令流单数据流(Single Instruction Stream Single Data Stream, SISD)型计算机。

4. 并行处理

通常所见到的计算机系统在处理信息时都是串行操作的,为提高信息处理的效率,有必要实行并行处理。并行处理的最大特点就是并行性。

并行性(Parallelism),在实际上包括同时性和并发性二重含义。

同时性(Simultaneous),指在同一瞬间发生两个或两个以上的事件。

并发性(Concurrency),指在同时间间隔内发生二个或多个事件。

为提高计算机系统的并行性,可以通过各种各样的技术途径来达到,如时间重叠、资源重复和资源共享等。

时间重叠(Time Inteleaving)是在并行性概念中引入时间因素,让多个处理过程在时间上相互错开,轮流重叠地使用同一套硬件设备的各个部分,以加快硬件周转而赢得速度。图 1.5 所示的指令内部各操作步骤采用重叠流水的工作方式就是最简单典型的例子。其中,1 条指令的解释分取指、分析、执行 3 大步骤,分别在相应硬件上完成。设每部分的通过时间均为 Δt ,则在 $2\Delta t$ 到 $3\Delta t$ 期间,第 $k+2$ 条指令正进行取指阶段,第 $k+1$ 条指令就在分析部件中进行指令分析,而第 k 条指令已在执行中具体执行。由图可见,全部解释完这 3 条指令只需要 $5\Delta t$,加快了程序的执行速度。时间重叠原则上不需要重复增加硬件设备就可以提高计算机系统的性能价格比。

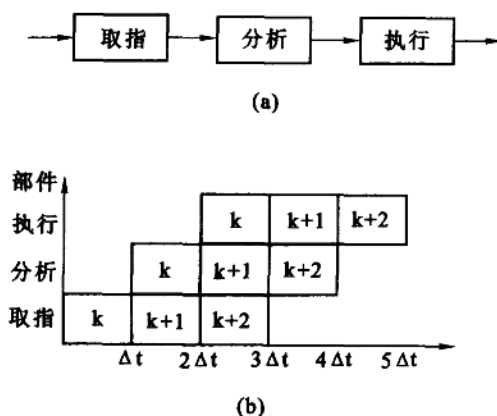


图 1.5 时间重叠的例子

(a) 指令流水线; (b) 指令在流水线各部件中流过的时间关系

资源重复(Resource Replication)是在并行性概念中引入空间因素。通过重复设置硬件资源来提高可靠性或性能。例如,双工系统就是利用资源重复,通过使用两台完全相同的计算机完成同样的任务来提高可靠性。再如可以如图 1.6 所示,设置 N 个完全相同的处理器(PE),让它们受同一个控制器(CU)控制,控制器每执行一条指令就可以同时让各个处理器对各自分配到的数据完成同一种运算,这是利用资源重复提高速度的例子。这些例子又都体现了并行性中的同时性。早期由于受限于硬件价格,资源重复是以提高可靠性为主,现在则被大量用于提高系统的速度性能。

资源共享(Resource Sharing)就是利用软件的方法让多个用户按一定时间顺序轮流地使

用同一套资源,以提高其利用率,这样相应地也可以提高整个系统的性能。例如,多道程序分时系统就是利用共享 CPU、主存资源,以降低系统价格,提高设备利用率的例子。当然资源共享不仅仅限于 CPU、主存、外设等硬件资源的共享,也应包括软件、信息资源的共享。

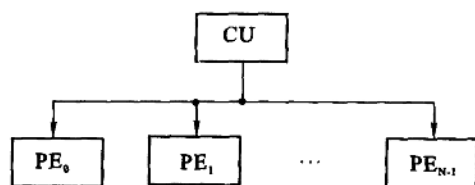


图 1.6 资源重复的例子

通常我们把并行处理机、叫单指令流多数据流(Single Instruction Stream Multiple Data Stream, SIMD)类型的计算机系统。

5. 多处理机系统

多处理机系统(Multiprocessor System),简称多机系统。它是由两个或两个以上的处理机所组成的计算机系统。多处理机系统有如下特点:

- (1) 包含两个或两个以上功能大致相当的处理机;
- (2) 所有处理机都共享一个公共的内存;
- (3) 所有处理机都共享 I/O 通道,控制器和外围设备等;
- (4) 整个系统由统一的操作系统控制,在处理机和程序之间实现作业、任务、程序段、数组和数组元素各个级别的全面并行。

在多机系统中,有多台处理机协同工作,使用多台处理机同时执行同一程序,或者几个不同的程序。通过并行处理而使程序总的执行时间大大缩短,而这种并行性不仅依赖于所执行程序的特性,还反映在作业、任务、程序等各级处理上,并有一些专门的指令来派生出一些可以并行执行的进程,分配给各处理机执行,使系统内的处理机有尽量少的空闲时间,从而提高了计算机系统的工作效率和性能。采用多机系统,还可提高系统的可靠性,如果某台处理机工作发生故障,则可由其他处理机来接替它的工作。

多机系统具有下列很明显的优点:

- (1) 处理速度快;
- (2) 可靠性高;
- (3) 性能价格比高;
- (4) 模块性结构好;
- (5) 系统的灵活性好。

多机系统的分类如下所述:

- (1) 从结构特征上,多机系统可分为同构型多处理机和异构型多处理机两种不同的结构形式。

同构型多处理机(Homogeneous Multiprocessor),系统内包括多台相同类型或者相同功能的处理机。各处理机并行地分别处理同一程序的多个子任务,按照多指令流多数据流的模式工作,各处理机之间的分工平等,处理功能也大致相同。所以,这种处理机又叫多指令流多

数据流类计算机系统。

异构型多处理机(Heterogeneous Multiprocessor),也称作功能分布式计算机系统(Functionally Distributed Computer System),系统内包含多台相对独立的处理机,这些处理机分别执行系统的不同的子功能,它们并行工作,协同完成一个任务;它们分享公用资源,并以通信网络为中心进行组织。

(2)从耦合角度上,多机系统可分为松散耦合和紧密耦合系统等。耦合是指两者或多者之间相互联系和相互影响的程度。在多机系统中,并行性的发展主要反映在耦合度的提高上,以及取决于系统的结构和计算机之间的通信能力。

松散耦合系统(Loosely Coupled System),或称作间接耦合系统(Indirectly Coupled System),处理机之间通过共享的 I/O 系统进行通信联系。例如大的计算中心通过开关网络把多台计算机和大量外围设备、计算机网络等连接起来。

紧密耦合系统(Tightly Coupled System),或称作直接耦合系统(Direct Coupled System),处理机之间可对公共的主存储器进行存取。例如 IBM360/50(或 40)与 IBM360/65(或 50)组成的附属辅助处理机系统等。

以上简要介绍了目前应用的各种类型的计算机系统,可以看出,计算机系统结构已在最初结构基础上得到不断的改进和发展,一方面是合理地进行软硬功能分配,适当增大硬件实现的功能比例,为操作系统、高级语言、应用软件的实现提供更多更好的支持;另一方面则是通过各种途径来提高计算机系统结构中的并行处理能力,继而希望摆脱冯·诺依曼型计算机结构的束缚,发展全新的计算机系统结构,让计算机能模拟人类在自然语言的理解、图像图形声音的识别和处理、学习和探索、思维和推理等方面的功能以及具有良好的环境自适应能力。

1.2.4 存储系统

存储器(Storage 或 Memory)是计算机存放信息的场所。对存储器的要求是速度快、容量大和价格低等,但是要想同时达到这些要求是比较困难的,因此只能在综合平衡中求得最佳方法。即在合理的价格下,同时采用多种存储器构成存储系统,以实现存取速度快、存储容量大的目的。这就是分级存储的思想。

虚拟存储器可以为用户提供一个比实际主存的容量大得多的“主存”。计算机系统中的各种存储设备以及有关这些设备的控制或管理的算法(由硬件或软件来实现)构成计算机存储系统。

1. 存储器

根据同 CPU 的关系,可以把计算机系统中的存储器划分为以下两种类型。

(1)主存储器:它和中央处理机构成计算机主机,用来存放程序和数据。CPU 可直接读写主存储器的内容。半导体存储器的小型化、集成化以及高速度等方面作为计算机的主存很具优点。目前,实际用来制作主存储器的大规模集成电路的芯片的集成度已超过 256M 位/片。

(2)辅助存储器(Auxiliary Storage):它是为了弥补主存的容量不足而使用的一种存储器。CPU 要存取辅存中的信息,必须经过主存储器,并且辅存和主存成批地交换数据信息。辅存的存储容量很大,常用来存放系统程序和大型数据文件等,当主存的存储容量不够时,也可以使用辅存,以存放部分数据信息。辅存的存取速度要比主存慢得多。相对于主存,辅存的价格低廉。

存储器的主要技术指标如下: