



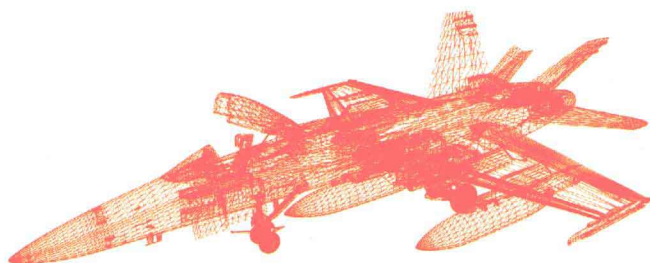
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

航空、航天、航海系列

TEXTBOOKS FOR HIGHER EDUCATION

# 航空计算机系统与应用

宋东 和麟 编著



西北工业大学出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 航空计算机系统与应用

宋东 和麟 编著

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民用航空领域中的应用知识。全书分为 12 章。前 3 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 4~9 章分别介绍了机载计算机系统、机载数据总线与网络、大气数据计算机、近地警告计算机、EICAS 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、先进的民机机载计算机系统。第 10~12 章通过介绍自动测试系统中的计算机、民航计算机管理信息系统、基于计算机的培训系统等方面的知识,阐述了计算机在民用航空地面设备中的应用方法。

本书适合作为高等学校航空电子电气类专业的教材,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,和麟编著. —西安:西北工业大学出版社,2011.7  
ISBN 978-7-5612-3120-3

I. ①航… II. ①宋… ②和… III. ①机载计算机 IV. ①V247.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 142581 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)88493844 88491757

网 址:www.nwpu.com

印 刷 者:陕西兴平报社印刷厂

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:20.25

字 数:491 千字

版 次:2011 年 7 月第 1 版 2011 年 7 月第 1 次印刷

定 价:40.00 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,本书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 12 章。第 1 部分(1~3 章)从计算机概论、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(4~9 章)介绍了机载计算机系统、机载数据总线和几种先进的机载计算机。第 3 部分(10~12 章)介绍了在航空领域地面应用的计算机系统,有自动测试系统中的计算机、计算机管理信息系统和基于计算机的培训系统等。

全书由宋东、和麟编著,第 1~6,10~12 章由宋东编写,第 7,9 章由和麟编写,第 8 章由宋东、和麟合作编写。在本书的编写过程中,得到了西北工业大学航空学院民航工程系同事们的大力协助,在此表示衷心的感谢。

由于资料缺乏,加之水平有限,书中难免有错漏之处,恳请读者批评指正。

编著者

2010 年 4 月

# 目 录

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 第 1 章 概论.....             | 1   |
| 1.1 计算机系统概述 .....         | 1   |
| 1.2 航空计算机系统 .....         | 3   |
| 第 2 章 计算机系统结构与组成基础知识..... | 5   |
| 2.1 计算机系统结构基础 .....       | 5   |
| 2.2 计算机存储系统.....          | 13  |
| 2.3 计算机总线系统.....          | 17  |
| 2.4 计算机系统的可靠性与容错技术.....   | 22  |
| 2.5 通用计算机与专用计算机.....      | 24  |
| 思考题 .....                 | 48  |
| 第 3 章 计算机通信与计算机网络 .....   | 49  |
| 3.1 数据通信的基础知识.....        | 49  |
| 3.2 计算机的串行通信方法.....       | 60  |
| 3.3 计算机网络的基础知识.....       | 64  |
| 3.4 计算机网络的结构.....         | 68  |
| 3.5 局域网技术.....            | 72  |
| 3.6 网络互联技术.....           | 84  |
| 3.7 TCP/IP 协议 .....       | 86  |
| 思考题 .....                 | 99  |
| 第 4 章 机载计算机系统通论.....      | 101 |
| 4.1 概述 .....              | 101 |
| 4.2 机载计算机的结构与硬件设计 .....   | 103 |
| 4.3 机载计算机的软件 .....        | 106 |
| 4.4 机载计算机的自测试技术 .....     | 109 |
| 思考题.....                  | 115 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| <b>第 5 章 机载数据总线和网络</b>       | 116 |
| 5.1 机载数据总线概述                 | 116 |
| 5.2 ARINC 429 数据总线           | 118 |
| 5.3 1553B 总线                 | 128 |
| 5.4 ARINC 629 数据总线           | 132 |
| 5.5 机载实时网络                   | 136 |
| 思考题                          | 141 |
| <b>第 6 章 飞行状态和数据处理类计算机系统</b> | 142 |
| 6.1 大气数据计算机系统                | 142 |
| 6.2 近地警告计算机                  | 151 |
| 6.3 发动机指示和机组警告系统计算机          | 162 |
| 思考题                          | 169 |
| <b>第 7 章 飞行管理计算机系统</b>       | 170 |
| 7.1 飞行管理系统的功能与组成             | 170 |
| 7.2 飞行管理计算机系统的组成与功能          | 171 |
| 7.3 飞行管理计算机的组成               | 175 |
| 7.4 控制显示组件构成                 | 181 |
| 7.5 飞行管理计算机系统的自检             | 186 |
| 7.6 FMC 双系统工作原理              | 191 |
| 思考题                          | 196 |
| <b>第 8 章 飞行控制计算机</b>         | 197 |
| 8.1 数字式飞行控制系统简介              | 197 |
| 8.2 FCS—700 飞行控制系统           | 199 |
| 8.3 FCC—701 飞行控制计算机          | 201 |
| 8.4 波音 777 飞机飞行控制系统          | 208 |
| 8.5 波音 777 飞机飞行控制计算机         | 214 |
| 思考题                          | 219 |
| <b>第 9 章 飞机信息管理系统</b>        | 220 |
| 9.1 飞机信息管理系统的组成与结构           | 220 |
| 9.2 AIMS 背板数据总线              | 225 |

|               |                                |            |
|---------------|--------------------------------|------------|
| 9.3           | AIMS 系统 629 总线及 636 总线接口 ..... | 228        |
| 9.4           | 输入/输出模块功能描述 .....              | 231        |
| 9.5           | 核心处理模块功能描述 .....               | 233        |
| 9.6           | 数据转换网关功能 .....                 | 238        |
| 9.7           | AIMS 软件及测试 .....               | 240        |
|               | 思考题 .....                      | 241        |
| <b>第 10 章</b> | <b>计算机在航空自动测试系统中的应用 .....</b>  | <b>243</b> |
| 10.1          | ATE 的功能和组成 .....               | 243        |
| 10.2          | 基于 VXI 总线的自动测试系统 .....         | 249        |
| 10.3          | 自动测试系统总线新技术 .....              | 254        |
| 10.4          | 自动测试系统实例 .....                 | 258        |
| 10.5          | ATE 的发展及其在我国民航的应用现状 .....      | 262        |
|               | 思考题 .....                      | 265        |
| <b>第 11 章</b> | <b>民航计算机管理信息系统 .....</b>       | <b>266</b> |
| 11.1          | 民航总局管理信息系统 .....               | 266        |
| 11.2          | 航空公司计算机信息系统结构 .....            | 271        |
| 11.3          | 民航机场计算机管理信息系统 .....            | 279        |
|               | 思考题 .....                      | 286        |
| <b>第 12 章</b> | <b>基于计算机的培训系统在民航中的应用 .....</b> | <b>287</b> |
| 12.1          | 航空仿真技术 .....                   | 287        |
| 12.2          | 飞行模拟机计算机系统 .....               | 291        |
| 12.3          | 航空 CAI 和 CBT .....             | 296        |
|               | 思考题 .....                      | 300        |
| <b>附录</b>     | <b>.....</b>                   | <b>301</b> |
|               | 附录 1 ARINC 电子设备规范简介 .....      | 301        |
|               | 附录 2 专业术语缩写词表 .....            | 307        |
| <b>参考文献</b>   | <b>.....</b>                   | <b>314</b> |

# 第 1 章 概 论

## 1.1 计算机系统概述

### 1.1.1 计算机发展史

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 年代后期~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 60 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,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,单机的运算速度由一开始的每秒 5 千次提高到每秒几十亿次以上,2009 年世界上最快的超级计算机运算速度达到了惊人的每秒 1 千万亿次以上。主机的存储容量一般也已达到千兆(G)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、网络软件等。

### 1.1.2 计算机系统组成

计算机系统是由硬件(Hardware)和软件(Software)两部分组成的。结构如图 1.1 所示。

计算机系统硬件包括中央处理器(CPU)、主(内)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、光盘等)。

计算机系统软件包括系统软件和应用软件两大类。

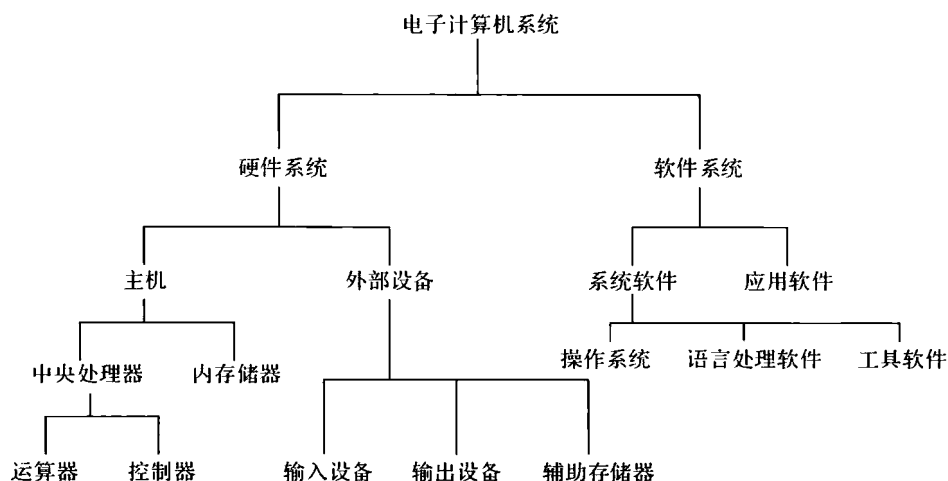


图 1.1 计算机组成图

系统软件是指控制和协调计算机及其外部设备,支持应用软件的开发和运行的软件。其主要的功能是进行调度、监控和系统维护等。系统软件是用户和裸机的接口,主要包括操作系统软件,如 DOS,Windows 系列,Linux,Unix 等;各种语言的处理程序,如低级语言、高级语言、编译程序、解释程序;各种服务性程序,如机器的调试、故障检查和诊断程序、杀毒程序等;各种数据库管理系统,如 SQL Sever,Oracle,Informix,Foxpro 等。

应用软件是用户为解决各种实际问题而编制的计算机应用程序及其有关资料。应用软件主要有以下几种:用于科学计算方面的数学计算软件包、统计软件包;文字处理软件包(如 WPS,Office);图像处理软件包(如 Photoshop、动画处理软件 3DS MAX);各种财务管理软件、税务管理软件、工业控制软件、辅助教育等专用软件。

除上述硬件和软件外,还有一种器件称为固件(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。

### 1.1.3 硬件和软件的关系

(1)硬件与软件是相辅相成的,硬件是计算机的物质基础,没有硬件就无所谓计算机。

(2)软件是计算机的灵魂,没有软件,计算机的存在就毫无价值。

(3)硬件系统的发展给软件系统提供了良好的开发环境,而软件系统的发展又给硬件系统提出了新的要求。

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,要进行乘除运算须编制一段子程序,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,在档次高一些的计算机中是用硬件来完成的,而在一些单片机上则可用软件来实现。

### 1.1.4 计算机的性能指标

对于不同用途的计算机,其对不同部件的性能指标要求有所不同。例如,对于以用做科学计算为主的计算机,其对主机的运算速度要求很高;对于以用做大型数据库处理为主的计算机,其对主机的内存容量、存取速度和外存储器的读写速度要求较高;对于用做网络传输的计算机,则要求有很高的 I/O 速度,因此应当有高速的 I/O 总线和相应的 I/O 接口。

#### 1. 运算速度

计算机的运算速度是指计算机每秒钟执行的指令数,其单位为百万条指令每秒(简称 MIPS)或者百万条浮点指令每秒(简称 MFPOPS)。它们都是用基准程序来测试的。影响运算速度的有如下几个主要因素:

(1)CPU 的主频。指计算机的时钟频率。它在很大程度上决定了计算机的运算速度。例如,Intel 公司的 CPU 主频最高已达 3.20 GHz 以上,AMD 公司的可达 4 GHz 以上。

(2)字长。CPU 进行运算和数据处理的最基本、最有效的信息位长度。PC 机的字长,已由 8088 的准 16 位(运算用 16 位,I/O 用 8 位)发展到现在的 32 位、64 位。

(3)指令系统的合理性。每种机器都设计了一套指令,一般均有数十条到上百条,例如:加、浮点加、逻辑与、跳转等等,组成了指令系统。

#### 2. 存储器的指标

(1)存取速度。内存存储器完成一次读(取)或写(存)操作所需的时间称为存储器的存取时间或者访问时间。而连续两次读(或写)所需的最短时间称为存储周期。对于半导体存储器来说,存取周期约为几十到几百纳秒(纳秒的符号是 ns,1ns=10<sup>-9</sup>s)。

(2)存储容量。存储容量一般用字节(Byte)数来度量。PC 机的内存存储器已由 286 机配置的 1 MB,发展到现在 P4(奔腾 4)配置的 1 GB 以上。内存容量的加大,对于运行大型软件十分必要,否则会令人感到慢得无法忍受。

#### 3. I/O 的速度

主机 I/O 的速度,取决于 I/O 总线的设计。这与慢速设备(例如键盘、打印机)的关系不大,但对于高速设备则效果十分明显。例如对于当前的硬盘,它的外部传输率已可达到 40 MB/s 以上。

## 1.2 航空计算机系统

航空计算机系统是应用于航空领域的计算机系统。

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专用微机。在 20 世纪 80 年代初期开始投入使用的民航飞机各种机载设备,大多采用了通用的微处理器作为它的中央处理器(CPU)。

航空领域地面应用的计算机系统涉及飞行器设计、制造、运用等所有方面。在民航领域应用的大型系统有计算机信息管理系统(包括定购票系统、机场离港系统等),飞行模拟器等。

在飞行器中应用的计算机一般分为机载计算机和弹载计算机。

机载计算机是安装在飞机上的各种计算机的统称。它是现代飞机电子系统中的重要设

备。机载计算机主要用于导航计算、大气数据处理、飞行控制、发动机控制、雷达信号处理、火力控制、电子侦察、电子干扰、地形跟随、地物回避、敌我识别、加密通信、综合显示和系统性能管理等。

现代民用飞机机载电子设备、电气设备中计算机的应用相当普遍,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,使大型客机上的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,极大地减轻了飞机质量,提高了安全性和可靠性。

以上简要介绍了计算机在航空领域的应用现状,后文将对几种典型的机载计算机系统和民航地面应用的计算机系统作详细论述。

## 第 2 章 计算机系统结构与组成基础知识

本章主要介绍了计算机系统结构的基础知识,主要从硬件的角度阐述了计算机系统结构、并行处理的方法、存储系统、总线系统。本章内容是后续章节的基础。

### 2.1 计算机系统结构基础

计算机系统结构(Computer Architecture)包括两方面的含义:

(1)从计算机设计者的角度来看,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;

(2)从程序设计者的角度来看,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。

#### 2.1.1 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竟是怎样执行的,就好像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 2.1 所示的多级层次结构。

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 是由硬件实现的,M1 是由微程序(固件)实现的,M2,M3 及 M4 大多是由软件实现的。由软件实现的机器称为虚拟机器,以区别于由硬件或固件实现的实际机器。要注意,机器的实现和题目得到的解答不是一回事,后者要从用户所使用的那级开始逐级变更,直至到达最低级,它须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

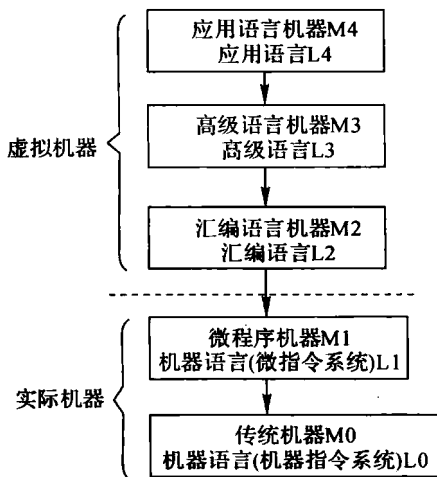


图 2.1 多级层次结构

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的,如操作系统中的某些命令可以由比它低两级的微程序解释。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成是由多级构成的层次结构,这有利于正确理解软件、硬件、固件在计算机系统中的地位和作用。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需的解釋程序和翻译程序而设计的,以便能设计和实现新的虚拟机器级,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的。为了便于翻译和解释,相邻级语言的语义差距就不能太大。

### 2.1.2 计算机系统结构、组成与实现

计算机系统结构也称为计算机体系结构,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 2.1 所示的传统机器级的系统结构。计算机系统结构是软、硬/固件的交界面,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/固件的交界面,如图 2.2 所示。

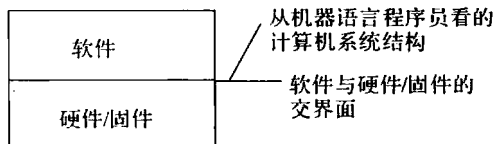


图 2.2 软、硬/固件交界面

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(包括中断的类型、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)。

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、结果保存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,称这种情况下的各档机器是软件兼容(Software Compatibility)的,它们的区别仅在于运行所需的时间不同。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设计新机器或新系列机时所必须遵循的。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。

### 2.1.3 计算机体系结构分类

随着电子计算机技术的发展,计算机的系统体系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体系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 2.3 所示。

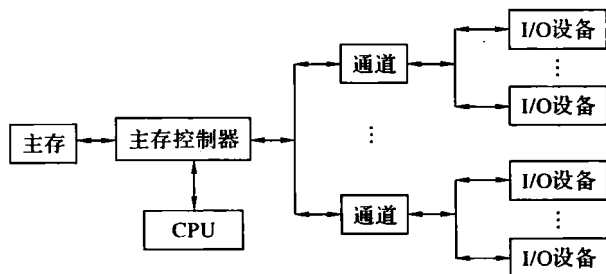


图 2.3 以主存储器为中心的结构

#### 3. 以总线为中心的结构

在微型计算机中一般采用这种结构,如图 2.4 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。

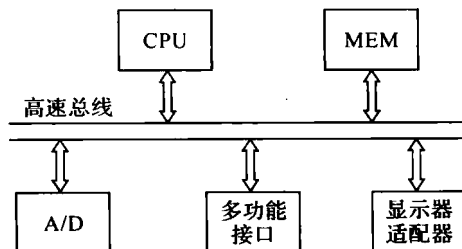


图 2.4 以总线为中心的结构

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. 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。它可以构成单指令流多数据流(Single Instruction Stream Multi Data Stream, SIMD)型计算机,或多指令流多数据流(Multi Instruction Stream Multi Data Stream, MIMD)型计算机。

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。

1)同构型多处理机,指系统内包括多台相同类型或者相同功能的处理机。该型结构一般可以实现各处理机并行地分别处理同一程序的多个子任务,按照单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。

2)异构型多处理机,也称为功能分布式计算机系统,指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,一般可以实现多指令流多数据流的模式。

(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。

1)松散耦合系统是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。

2)紧密耦合系统是处理机之间可通过对公共的主存储器的存取进行通信联系,例如对称多处理器系统(SMP)等。

#### 2.1.4 并行处理的实现方法

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)实际上包括同时性和并发性两重含义。

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)指在同一时间间隔内发生两个或多个事件。

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 2.5 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的典型例子。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  $\Delta t$ ,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。

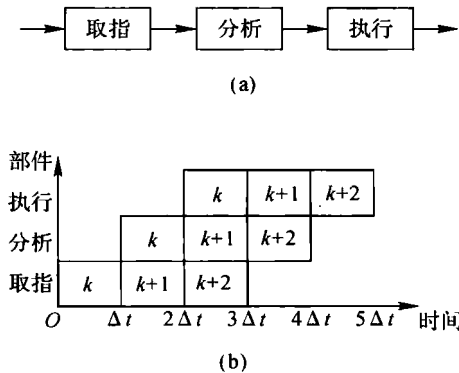


图 2.5 时间重叠的例子

(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 2.6 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的,现在则被大量用于提高系统的速度性能。

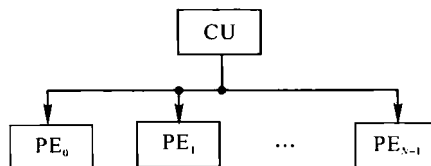


图 2.6 资源重复的例子

资源共享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