

高等院校计算机教育系列教材

计算机组成原理

赵家俊 赵扬 编著

- 结构清晰, 知识完整
- 入门快速, 易教易学
- 实例丰富, 实用性强
- 学以致用, 注重能力



赠送实例代码和电子课件



清华大学出版社

高等院校计算机教育系列教材

计算机组成原理

赵家俊 赵 扬 编 著

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统地介绍计算机的组成原理及内部工作机制,包括计算机各大部件的工作原理、逻辑实现、设计方法及互连构成计算机整机的技术。全书共分9章,其内容包括:计算机系统概论、数字化信息编码与数据表示、逻辑函数和逻辑电路、运算器、指令系统、中央处理部件、存储系统、输入/输出设备、输入/输出系统。

本书力求成为一种普及读本,使读者主要通过自学,建立起整机概念,建立起计算机整机运行原理的概念。为此,作者精选内容,简化模型,根据作者的思路和多年的教学实践经验,把重点放在讲述数据通路、时序系统和微操作控制信号发生器上。

本书以计算机专业、信息专业、电子类专业、电子商务专业及其他有关理工科专业的学生为阅读对象,可作为开设“计算机组成原理”课程的教材,也可供从事计算机专业工作的工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理/赵家俊,赵扬编著. —北京:清华大学出版社,2010.3

(高等院校计算机教育系列教材)

ISBN 978-7-302-21729-9

I. 计… II. ①赵… ②赵… III. ①计算机体系结构—高等学校—教材 IV. TP303

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 243812 号

责任编辑:章忆文 石 伟

装帧设计:杨玉兰

责任校对:李玉萍

责任印制:孟凡玉

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京四季青印刷厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:26.75 字 数:646 千字

版 次:2010 年 3 月第 1 版 印 次:2010 年 3 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:37.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:018273-01

前 言

计算机技术的发展很快,现在已经进入了网络时代,很少有计算机不与网络相连。不论网络如何先进,它都是以计算机单机为基础的。计算机的应用已延伸到各个领域,从而产生了许多学科分支,如数据库、数据挖掘等。计算机网络和由计算机产生的许多学科分支,其根基都是计算机,所以,“计算机组成原理”是一门十分重要的课程。计算机的组成和其运行原理的基本思想渗透到由计算机衍生出来的许多领域。要想真正理解软件,就必须理解硬件,软件和硬件共存于计算机系统中。

本书写作的目的是提供一本普及读本,尽可能让读者可以自学读懂。这就要求选材得当,以帮助读者建立起整机概念、建立起计算机整机运行原理的概念为出发点,使问题简化,而不是讲解某一台计算机的具体组成。当前通常使用的计算机都是很复杂的。然而,当我们从本质上理解计算机之后,再来认识更复杂、更具体的计算机,就会变得很容易了。本书写作的指导思想是:凡是用较短篇幅讲不清楚,而又不是认识计算机运行原理的必要的问题,干脆不讲。只介绍一些新鲜名词,似乎扩大了知识面,却使学生不明不白,反而增加了思想负担,产生了对本门课程的畏惧和厌烦情绪。

为了达到上述目的,作者阅读了大量文献,特别是国内已经出版的教材。尽可能吸取其精华部分,只选择必要内容,并根据作者的思路和多年的教学实践经验,重新编写。

本书具体内容为:第1章简单介绍计算机系统的基本组成和其层次结构;第2章介绍数字化信息编码和数据校验码;第3章介绍逻辑函数和逻辑电路;第4章介绍运算器的基本原理和组织;第5章介绍指令系统;第6章介绍中央处理部件;第7章介绍存储系统;第8章介绍输入/输出设备;第9章介绍输入/输出系统。其中,第6章是全书的重点和难点,占用较大的篇幅来讲述计算机系统中,特别是中央处理部件中的数据通路、时序电路和微操作控制信号发生器,这些内容是计算机系统中最为核心的知识。

本书以计算机专业、信息专业、电子类专业、电子商务专业及其他有关理工科专业的学生为读者对象,可作为“计算机组成原理”课程的教材,也可供从事计算机专业工作的工程技术人员参考。

在本书的编写和出版过程中,得到许多专家学者的指教;清华大学出版社的领导和编辑付出了大量的辛勤劳动,特别是章忆文老师给作者提出了许多宝贵意见,使作者获益匪浅,在此一并表示由衷的感谢。

限于作者的知识水平,书中一定存在不少缺点和错误,希望读者批评指正。

编 者

目 录

第1章 计算机系统概论.....1

- 1.1 计算机系统的基本组成.....1
 - 1.1.1 硬件组成.....1
 - 1.1.2 软件组成.....2
- 1.2 计算机系统的层次结构.....3
- 1.3 软、硬件界面与逻辑上的等价.....5
- 1.4 计算机的体系结构、组成和实现.....6
- 1.5 计算机系统中的信息活动.....6
 - 1.5.1 硬信息和软信息.....6
 - 1.5.2 信息进出计算机系统.....7
 - 1.5.3 信息在主机系统中的活动.....8
 - 1.5.4 计算机系统中信息传送的通路.....10
 - 1.5.5 CPU 对三类信息的加工.....10
- 1.6 计算机的过去、现在和未来.....11
 - 1.6.1 冯·诺依曼机的基本特点.....11
 - 1.6.2 计算机发展的四个阶段.....12
 - 1.6.3 计算机分类.....13
 - 1.6.4 计算机网络.....14
- 1.7 习题.....15

第2章 数字化信息编码与数据表示.....17

- 2.1 数字化信息编码的概念.....17
- 2.2 常用的信息编码.....17
 - 2.2.1 字符编码.....17
 - 2.2.2 中文的编码表示.....19
 - 2.2.3 逻辑数据的表示.....19
 - 2.2.4 数值数据的表示与编码.....20
- 2.3 计算机中数值数据的表示、转换和运算.....20
 - 2.3.1 数制与进位记数法.....20
 - 2.3.2 数据的转换.....21
 - 2.3.3 二进制数的运算规则.....23
 - 2.3.4 二进制数在计算机内的表示.....25
 - 2.3.5 十进制数的编码与运算.....32

- 2.4 数据校验码.....35
 - 2.4.1 数据校验码实现原理.....35
 - 2.4.2 奇偶校验码.....36
 - 2.4.3 海明校验码.....36
 - 2.4.4 循环冗余校验码.....39
- 2.5 习题.....45

第3章 逻辑函数和逻辑电路.....48

- 3.1 逻辑变量和逻辑函数的概念.....48
- 3.2 布尔代数的基本公式.....48
- 3.3 逻辑函数的代数化简.....49
- 3.4 逻辑函数的最小项表示.....50
- 3.5 逻辑电路分类.....51
 - 3.5.1 门电路.....51
 - 3.5.2 记忆电路.....51
 - 3.5.3 时序电路.....52
 - 3.5.4 时钟电路.....52
- 3.6 逻辑门电路.....53
 - 3.6.1 基本逻辑门.....53
 - 3.6.2 基本三态逻辑门.....54
 - 3.6.3 基本组合逻辑门.....54
 - 3.6.4 常用组合逻辑门.....55
- 3.7 记忆电路.....65
 - 3.7.1 寄存器.....65
 - 3.7.2 存储器.....70
- 3.8 基本时序电路.....77
 - 3.8.1 移位寄存器.....78
 - 3.8.2 计数器.....80
- 3.9 阵列逻辑电路.....84
 - 3.9.1 阵列逻辑组件.....84
 - 3.9.2 ROM.....85
 - 3.9.3 可编程序逻辑阵列.....87
- 3.10 习题.....91

第4章 运算器.....93

- 4.1 运算器概述.....93

4.2	一个简单的算术逻辑单元	94
4.3	定点运算器的基本组成与实现	98
4.3.1	定点加法的实现方案	98
4.3.2	定点原码一位乘法的实现 方案	102
4.3.3	定点补码一位乘法的实现 方案	105
4.3.4	定点原码一位除法的实现 方案	108
4.3.5	定点补码一位除法的实现 方案	114
4.3.6	逻辑运算的实现	116
4.4	加速乘除运算的技术	116
4.4.1	原码两位乘法	117
4.4.2	阵列乘法器	118
4.4.3	原码两位除法	118
4.4.4	阵列除法器	120
4.5	浮点四则运算	121
4.5.1	浮点数加减法运算步骤	121
4.5.2	浮点数加法运算实例	123
4.5.3	浮点数乘法运算步骤	124
4.5.4	浮点数相乘实例	125
4.6	运算器组织	126
4.6.1	带多路选择器的运算器	127
4.6.2	带输入锁存器的运算器	128
4.6.3	位片式运算器	129
4.6.4	浮点运算器	132
4.7	习题	133
第 5 章	指令系统	135
5.1	计算机指令概念	135
5.2	指令格式	136
5.2.1	指令的一般格式	137
5.2.2	指令操作码的扩展技术	138
5.2.3	指令长度与字长的关系	139
5.3	数据的表示和存储	140
5.4	寻址方式	141
5.5	指令类型	145
5.6	指令系统举例	150
5.6.1	SPARC 的指令系统	150

5.6.2	IBM 大型机指令系统	153
5.6.3	PDP 11 与 VAX 11 基本指令 格式	153
5.6.4	Pentium II 的指令系统	157
5.7	机器语言、汇编语言和高级语言	159
5.8	习题	161

第 6 章 中央处理部件

6.1	中央处理部件的功能	164
6.2	中央处理部件的组成	165
6.2.1	运算部件	166
6.2.2	寄存器设置	166
6.2.3	总线	169
6.2.4	时序系统	170
6.2.5	控制部件	172
6.2.6	CPU 内部数据通路结构	178
6.3	一台模型机的总体设计	181
6.3.1	模型机指令系统	181
6.3.2	总体结构与数据通路	183
6.4	模型机组合逻辑控制设计	188
6.4.1	时序系统	188
6.4.2	指令流程图与操作时间表	192
6.4.3	微操作信号的产生	210
6.4.4	机器周期的产生	214
6.4.5	机器加电过程	216
6.5	微程序控制原理	217
6.5.1	基本思想	217
6.5.2	有关术语	218
6.5.3	逻辑组成	219
6.5.4	微程序的执行	220
6.5.5	微指令的编译方法	221
6.5.6	微程序的顺序控制方式	223
6.5.7	微指令的执行方式	230
6.5.8	微程序设计方法	232
6.5.9	微程序控制器设计步骤	235
6.6	模型机的微程序设计	235
6.6.1	时序系统	235
6.6.2	微指令格式	236
6.6.3	模型机的微程序流程	238
6.6.4	模型机微程序表的编制	245

6.6.5 微程序控制方式的优缺点	257	7.5.4 硬盘存储器	316
6.6.6 微程序控制的应用	257	7.6 磁带存储器	327
6.7 流水线处理技术	258	7.6.1 磁带机的结构	327
6.7.1 指令的执行方式	258	7.6.2 磁带记录格式	328
6.7.2 流水线的分类	260	7.7 光盘存储器	330
6.7.3 线性流水线的性能	261	7.7.1 光盘存储器类型	330
6.7.4 流水线的相关问题	264	7.7.2 光盘存储器的工作原理	331
6.8 主流 CPU 简介	265	7.7.3 光盘存储器的技术指标	332
6.8.1 Intel 公司的 Pentium 处理器	265	7.7.4 DVD	333
6.8.2 SUN Microsystems 公司的 SPARC 系统	268	7.8 习题	334
6.9 习题	270	第 8 章 输入/输出设备	337
第 7 章 存储系统	274	8.1 外围设备概述	337
7.1 存储系统概论	274	8.1.1 外围设备分类	337
7.2 主存储器	277	8.1.2 信息交换代码与传送格式	340
7.2.1 基本概念	277	8.1.3 调用外围设备的层次	341
7.2.2 静态 MOS RAM 芯片举例	279	8.2 键盘	342
7.2.3 动态 MOS RAM 2164 芯片	285	8.2.1 键	342
7.2.4 动态 MOS RAM 4116 芯片	288	8.2.2 硬件扫描键盘	344
7.2.5 动态 RAM 的刷新	291	8.2.3 软件扫描键盘	345
7.2.6 只读存储器举例	292	8.3 显示设备	348
7.2.7 主存储器与 CPU 的连接	298	8.3.1 显示器概述	349
7.3 高速缓存	301	8.3.2 显示方式与规格	349
7.3.1 Cache 存储器工作原理	301	8.3.3 光栅扫描成像原理	351
7.3.2 Cache 的设置	302	8.3.4 屏幕显示与显示缓存间的 对应关系	356
7.3.3 Cache 的映射	303	8.3.5 屏幕显示的实现	357
7.3.4 替换算法	306	8.4 打印输出设备	365
7.3.5 读写过程	306	8.4.1 打印设备的分类	365
7.3.6 块的大小	307	8.4.2 针式打印机	366
7.3.7 Cache 的容量	307	8.4.3 喷墨打印机	369
7.4 虚拟存储器	307	8.4.4 激光打印机	370
7.4.1 页式虚拟存储器	308	8.5 习题	371
7.4.2 段式虚拟存储器	310	第 9 章 输入/输出系统	373
7.4.3 段页式虚拟存储器	311	9.1 输入/输出系统概述	373
7.5 磁盘存储器	312	9.2 输入/输出接口	375
7.5.1 存储信息原理	312	9.2.1 接口的功能	375
7.5.2 磁记录方式	313	9.2.2 接口的组织	376
7.5.3 磁盘子系统	315	9.2.3 接口的类型	376



9.3 系统总线.....	379	9.7.4 单级中断处理和多重中断 处理.....	395
9.3.1 总线结构.....	379	9.7.5 使用屏蔽码改变优先等级.....	396
9.3.2 总线的控制方式.....	382	9.7.6 中断的处理过程.....	397
9.4 输入/输出的连接方式.....	384	9.7.7 中断响应.....	399
9.4.1 总线型.....	385	9.7.8 中断识别.....	400
9.4.2 辐射型.....	386	9.7.9 中断服务和中断返回.....	404
9.4.3 通道型.....	386	9.7.10 程序中断方式接口.....	405
9.4.4 输入/输出处理机型.....	387	9.8 DMA 方式.....	406
9.5 信息交换的控制方式.....	387	9.8.1 DMA 传送.....	406
9.6 程序直接控制方式.....	389	9.8.2 DMA 主要操作过程.....	407
9.6.1 查询的基本思想和工作 流程.....	389	9.8.3 基本的 DMA 控制器.....	408
9.6.2 程序查询控制方式接口.....	389	9.8.4 其他 DMA 控制器.....	409
9.6.3 设备状态字.....	390	9.9 通道方式.....	410
9.6.4 输入/输出管理程序举例.....	391	9.9.1 通道的概念.....	411
9.7 程序中断控制方式.....	391	9.9.2 通道的类型.....	412
9.7.1 中断概述.....	391	9.9.3 通道结构的发展.....	414
9.7.2 中断请求的发送与屏蔽.....	393	9.10 习题.....	414
9.7.3 中断优先级.....	394	参考文献.....	418

第 1 章 计算机系统概论

计算机系统是由硬件和软件两大部分组成的，其功能是完成数据的输入、传送、存储、处理和输出。本章介绍计算机系统的基本组成、层次结构和体系结构，认识计算机体系结构、组成和实现三者之间的关系。

1.1 计算机系统的基本组成

计算机系统的基本组成可以分为硬件和软件两部分。硬件是其物质基础，是软件的载体；软件则是计算机系统的灵魂。没有硬件，软件就不能运行；没有软件，硬件就发挥不了作用，从而失去存在的价值。因此二者紧密相关，缺一不可。

1.1.1 硬件组成

一般来说，计算机的硬件组成可以用图 1-1 来表示。对微型机来说，运算器和控制器集成在一块芯片上，称为中央处理部件(CPU)。CPU 和内存系统统称为主机。输入设备和输出设备统称为外围设备。所谓输入与输出，是相对于主机系统而言的。磁盘系统既是输入设备，也是输出设备。当保存一个文档时，磁盘就是一个输出设备；当打开一个文档时，磁盘就作为输入设备使用。主机和外围设备组成了计算机的硬件系统。各部件之间使用三条总线连接，各部件之间就通过这三条总线实现信息传送。注意，所有外围设备都是通过接口线路和总线连接的。通常，CPU 只与接口打交道(传递信息)，而不与外围设备直接打交道。数据总线(DBUS)是双向总线，在不同时刻可以在不同方向上传递数据，但同一时刻只能在一个方向传递数据。地址总线(ABUS)用来选择发送数据或接收数据的地址。地址总线上的信息通常是由 CPU 提供的。当 CPU 将总线控制权转交给 DMA 控制器时，地址总线上的信息便由 DMA 控制器提供，这时 CPU 对外表现为高阻态。DMA 控制器通常用于控制主机(内存)和高速外围设备(如磁盘)之间的数据传送。控制总线(CBUS)中的大部分信息由 CPU 提供，也有一些由内存或外围设备提供，但它不是双向总线；在大多数情况下，任何一条控制总线上的信息总是向着一个方向传递。

计算机的主要功能就是通过运行程序来完成数据处理。程序的运行是在主机中进行的。运行中的程序一定位于内存存储器中。控制器依次从内存取出一条指令，由控制器解释执行(发送控制信号)。数据在 CPU 内部的传送一般要通过运算器，而加工数据则必须通过运算器。完成数据的传送、处理和存储所依靠的是控制器发出的控制信号。控制器发出的控制信号仅作用于 CPU 内部、内存和外围设备接口线路；外设本身有自己的控制系统；接口线路协调主机与外围设备之间的时序，从而实现二者可以进行并行异步操作。

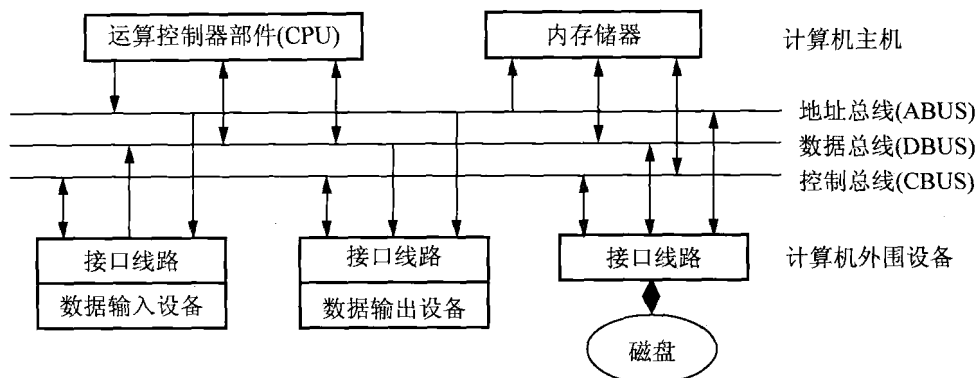


图 1-1 计算机硬件系统的组成

内存存取速度快,但容量是有限的,因为它取决于 CPU 上的地址线的条数。内存的价格也比较贵。内存由两部分构成:ROM 和 RAM。ROM 是非挥发性存储部件;RAM 是挥发性存储部件,当关闭主机电源后,其上的信息便丢失。计算机一旦开机就要运行程序,这部分程序是存放在 ROM 中的。通常所说的内存容量是指 RAM 的容量。在计算机系统中配备外存之所以必要,是因为外存容量大,不受 CPU 地址总线数的限制;外存上的信息可以长期保存,不会因关闭电源而挥发。外存是外围设备,必须通过接口与总线连接,所以外存上的程序不能直接运行。若要运行外存上的程序,必须先将其调入内存。

输入设备的基本功能是将人能识别的信息(文字、图形或声音)转变为计算机可以识别的二进制信息,从而对其进行加工和存储。输出设备的基本功能则是将计算机识别的二进制信息转变为人可以识别的信息(文字、图形或声音)。粗略地说,这种信息转换是在外围设备的接口中进行的。

1.1.2 软件组成

要让计算机完成数据的处理,必须事先在内存中放进程序和数据,然后计算机就按程序的要求来加工数据。程序和数据合称为软件。在计算机内部,程序和数据都是以二进制数据来表示的。为了表示一位二进制数,需要一个信息元素。这个信息元素有两个稳定的状态,用其中一个状态表示 1,则另一个状态就表示 0。可见,计算机系统中的信息是以硬件的物理状态存在的。我们常用的计算机,其内存的一个单元可以存放一个 8 位二进制数,这就需要 8 个信息元素;一个 8 位二进制数通常称为一个字节(Byte),可以表示 256 种状态。内存的容量可达 512MB(或更大)。所谓二进制数就是,每位只能表示两个数字中的一个,要么是 1,要么是 0。当两个二进制数相加时,对应位按逢 2 进 1 处理。程序由若干指令构成,一条指令可以占有一个或多个字节。内存中的一个字节究竟表示一个数据(或数据的一部分),还是表示一条指令(或指令的一部分),这就只能由执行中的程序来识别了。当然,这是人们在存放程序和数据时就已经按照人的意志安排好了的。

一种型号的 CPU 具有确定数量的指令,这些指令的全体称为机器语言。计算机硬件能识别机器语言。人们如果要与计算机直接打交道就必须使用机器语言。但这是很不方便的。于是人们就用机器语言编写了一个非常复杂的程序,将其一小部分放在内存 ROM 中,而

大部分则放在磁盘上。当打开机器电源的时候,先运行 ROM 中的程序(不挥发,关机后依然存在),然后再将磁盘上的一部分调入 RAM,并运行 RAM 中的这部分程序,这就是我们看到的 Windows 系统。Windows 系统提供了人和机器交互的界面。我们在计算机上的工作就变成了在 Windows 系统所提供的界面上进行。这个复杂的程序叫做操作系统,它具有资源管理和调度功能,使用户使用计算机更为简便。操作系统是系统软件中最重要软件。用户为了解决某些专业问题而编写的软件称为应用程序,如文字处理软件、辅助设计软件、财务会计软件等。应用程序建立在系统软件之上。系统软件 and 应用程序构成了软件系统。

1.2 计算机系统的层次结构

下面从与用户直接打交道的操作系统界面开始,到人们并不与之直接打交道的计算机硬件,来分析一下计算机系统的层次结构,如图 1-2 所示。

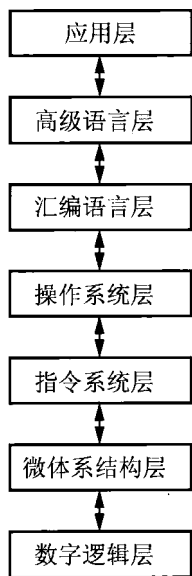


图 1-2 计算机系统的层次结构

第一个层次是数字逻辑层。通常所说的计算机一般是指电子数字计算机。组成电子数字计算机的主机部件(包括外设接口)主要是数字集成电路。数字集成电路包括门电路和记忆电路两大类。数字逻辑层解决的问题是,使用何种线路和如何存储信息,使用何种线路和如何传送信息,使用何种线路和如何加工信息。

第二个层次是微体系结构层。本层的任务是,为了执行指令,在计算机中设置哪些功能部件(如存储、运算、输入和输出、接口、总线和控制部件等)以及这些功能部件如何布局、连接,如何运行和协调工作。

第三个层次是指令系统层。本层的任务是,需要确定使用哪些指令、指令能够处理的数据类型和对其运算所用的算法,每一条指令的格式和完成的功能,包括如何表示要对其进行读操作或写操作的存储器的一个存储单元,如何表示要对其执行输入或输出操作的一



个外围设备。

第四个层次是操作系统层。它主要承担计算机系统中的资源管理与分配,把一些常用的功能以操作命令或系统调用的方式提供给使用者,并通过友好的界面为使用者和程序设计人员提供简单、方便和高效的服务。由此可以说,操作系统进一步扩展了原来的指令系统,提供了新的可用指令(命令),从而构成了一台比纯硬件系统功能更加强大的计算机系统。

第五个层次是汇编语言层。它建立在操作系统之上。汇编语言大体上是对计算机语言符号化处理的结果,再增加一些为方便程序设计而实现的扩展功能。与机器语言相比,汇编语言有两大优点:实现了用英文单词或其缩写形式替代二进制的指令代码,容易为人们记忆和理解;可以选用含义明确的英文单词来表示程序中用到的数据(常量和变量),避免程序设计人员为这些数据分配具体的存储单元。汇编语言依然是面向计算机硬件的。汇编语言程序必须经过一个叫做汇编程序的系统软件的翻译,将其转化为计算机机器语言后,才能在计算机的硬件系统上执行。

第六个层次是高级语言层。它建立在汇编语言层次之上。高级语言也称算法语言,和汇编语言不同,它不再过分地靠拢计算机硬件的指令系统,而是面向解决实际问题所用的算法,为程序设计人员编写程序提供方便。目前常用的高级语言有 Basic、C、C++、Pascal、Java、Prolog 等几百种。用这些语言设计出来的程序,通常需要经过一个叫做编译程序的软件编译成机器语言程序,或者首先编译成汇编源程序,再经过汇编程序的翻译,得到机器语言程序。机器语言程序直接在计算机上运行(当然可以运行多次)而不需要编译程序和汇编程序的存在。此外,还存在另一种高级语言。任何时候,只要执行这种高级语言程序,就必须要有相应的专门针对这种高级语言的解释程序同时存在。显然,执行这种解释性高级语言程序,效率要低得多。

第七个层次是应用层。它建立在高级语言层之上,由解决实际问题的处理程序组成。这部分内容不在本书讨论的范围之内。

在这 7 个层次中,第一层和第二层应该划分到计算机硬件范围内;指令系统则介于硬件与软件之间,是设计和实现计算机硬件系统最基本和最重要的依据,与计算机实现的复杂程度、设计程序的难易程度、程序占用硬件资源的多少、程序运行的效率等都直接相关。指令系统与计算机软件的关系当然也十分密切,因为计算机的全部软件最终都是由指令系统所提供的指令代码组成的。毫无疑问,软件系统是建立在硬件系统层次之上的,它的存在是以已有硬件系统为前提,且必须在已有硬件系统上运行。显然,第一至第三层属于实际机器层,而第四至第七层则属于虚拟机器层。

在图 1-2 给出的层次结构中,上面一层的实现是建立在下面一层基础上的。实现的功能越强大,就意味着越接近于人们解决实际问题的思维方式和处理问题的具体过程,对使用人员就越方便,在使用这一层的功能时,不必关心下面一层的实现细节。

下面一层是实现上面一层的基础,更接近计算机硬件实现的细节,尽管实现的功能相对简单,但人们使用这些功能却感到更困难。在实现这一层的功能时,可能尚无法了解其上一层的目标和将要解决的问题,也不必理解其更下一层实现中的有关细节问题,只要使用下一层所提供的功能来完成本层次的功能即可。

采用这种分层次的方法分析和解决某些问题,有利于简化处理问题的难度。在某一

段时间, 处理某一层中的问题时, 只需集中精力解决当前最需要关心的核心问题, 而不必牵扯上下层中的其他问题。

图 1-3 采用同心圆方式突出了计算机的逐层功能扩展的层次结构。从图可见, 外面的一层都是对其内层的一种功能扩展, 内部的一层都是实现其外一层的基础。越靠近内层, 其功能越简单, 使用却更困难; 越靠近外层, 其功能越强大, 使用却更方便。

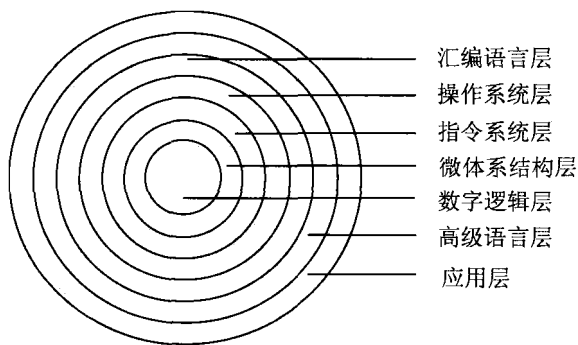


图 1-3 计算机的逐层功能扩展

1.3 软、硬件界面与逻辑上的等价

计算机系统以硬件为基础, 通过软件扩充其功能, 并以执行程序的方式体现其功能。一般来说, 硬件只完成最基本的功能, 而复杂的功能则通过软件实现。但是, 硬件与软件之间的界面, 如功能分配关系常随技术的发展而变化。有许多功能可以直接由硬件实现, 也可以在硬件支持下靠软件实现, 对用户来说在功能上是等价的, 称为软、硬件在功能上的逻辑等价。例如乘法运算, 可由硬件乘法器实现, 也可在加法器与移位器支持下由乘法子程序实现。

从设计者角度看, 指令系统是硬件与软件之间的界面。硬件的基本任务是识别与执行指令代码。因此, 指令系统所规定的功能一般可由硬件实现。指令系统是编程的基础(直接或间接)。问题是如何设计指令系统, 选择恰当的软、硬件功能分配, 这取决于所选定的设计目标、系统的性能价格比等因素, 并与当时的技术水平有关。

早期曾采用的一种技术策略是硬件软化。刚出现数字计算机时, 人们依靠硬件实现各种基本功能, 随后为了降低造价, 就只让硬件实现较简单的指令系统, 如加、减、移位与基本逻辑运算功能, 依靠软件实现乘、除、浮点运算等更高级一些的功能。这导致了在当时条件下小型计算机的出现, 它们结构简单而又具有较强的功能, 推动了计算机的普及与应用。

随着集成电路技术的飞速发展, 可以在一块芯片上集成相当强的功能模块, 于是又出现了另一种技术策略: 软件硬化。即将原来依靠软件才能实现的一些功能, 改由大规模、超大规模集成电路直接实现, 如浮点运算、存储管理等。这样系统将有更高的处理速度, 在软件支持下具有更强的功能。

与此同时, 人们又采取了另一种策略: 固件化。即采用微程序控制技术使计算机结构



和硬、软件功能分配发生变化,对指令的解释和执行是通过运行微程序来实现的。利用程序设计技术和扩大微程序的容量,可以使原来属于软件级的一些功能纳入微程序一级中。微程序被固化在只读存储器中。从信息形态上讲,微程序类似于软件;从器件形态上讲,它固化在硬件芯片内;从逻辑功能上讲,它属于硬件 CPU 的范畴,因而称为固件。现在也常采用软件固化的策略,将系统软件的核心部分(如操作系统的内核、常用软件中可固定不变部分)固化在存储芯片之中。从用户看,它们是系统硬件(如系统板)的一部分。

如果说系统设计者必须关心软、硬件之间的界面,即哪些功能由硬件实现,哪些功能由软件实现,用户则更关心系统能提供哪些功能。当然,实现这些功能的途径不同,其执行速度一般是不同的。

1.4 计算机的体系结构、组成和实现

计算机的体系结构(Computer Architecture)主要是研究硬件和软件功能的划分,确定硬件和软件的界面,即哪些功能应由硬件子系统完成,哪些功能应由软件子系统完成。

计算机组成(Computer Organization)是依据计算机体系结构,在确定并分配了硬件子系统的概念结构和功能特性的基础上,设计计算机各部件的具体组成及它们之间的连接关系,实现机器指令级的各种功能和特性。从这个意义上说,计算机组成是计算机体系结构的逻辑实现。为了实现相同的计算机体系结构所要求的功能,可以有多种不同的计算机组成设计方案,这是由于半导体器件性能的提高、新技术成果的面市,或者新的性能/价格比的需求出现,都会带来计算机组成的变化。

计算机实现(Computer Implementation)是计算机组成的物理实现。包括中央处理机、主存储器、输入/输出接口和设备的物理结构,所选用的半导体器件的集成度和速度,器件、模块、插件、底板的划分,电源、冷却、装配等技术,生产工业和系统调试等各种问题。总之,就是把完成逻辑设计的计算机组成方案转换成真实的计算机,也就是把满足设计和运行、价格等各项要求的计算机系统真正地制作并调试出来。

1.5 计算机系统中的信息活动

本节介绍程序和数据进入计算机系统,在计算机系统中被传送、存储和加工,以及将信息通过输出设备输出的过程。信息的输入、输出,以及信息在计算机内的传送、存储和被加工,这些就是信息在计算机系统的主要活动。

1.5.1 硬信息和软信息

计算机系统所包含的信息,按其来源和产生信息的方法可分为两类,即硬信息和软信息。所谓硬信息就是当打开主机电源后,计算机硬件自己产生的信息;或在计算机运行过程中,按下 Reset 键后计算机硬件产生的信息;或在计算机运行过程中,不是根据程序,而是根据外设请求而进入相应的状态周期(DMA 周期或中断周期),在此状态周期内计算机

硬件所产生的信息。所谓软信息就是程序和数据,以及 CPU 根据程序产生的控制信息。程序和数据都是从计算机系统之外输入的。本章所涉及的信息主要是指软信息。

1.5.2 信息进出计算机系统

计算机系统之外的信息是人们可以识别的符号、图形或声音。但计算机系统内部却只能识别二进制信息。那么,如何将系统之外人们可以识别的信息转换为计算机内的二进制信息,这就是输入设备所要完成的工作。同理,如何将计算机内的二进制信息,转变为能够在屏幕上显示的图形、动画,能够通过喇叭播放的语言、歌曲;或转变为可以控制卫星运行、火箭发射的控制信息;或转变为其他各种各样的控制信息,以控制被控对象按人们预定的方式工作,这是输出设备要实现的功能。

输入设备和输出设备各有自己的控制系统,它们依靠自己的控制系统来实现计算机内的二进制信息和相应设备产生(输入设备)或需要的信息(输出设备)之间的转换。不同的输入设备实现不同的外部信息的转换,如键盘实现将按的那个键转换为对应字符的 ASCII 码(二进制代码)。对输出设备来说,就正好相反,即将二进制信息转换为不同外围设备所需要的控制信息。如显示器实现将二进制信息转换为屏幕上显示的图形、动画、文字。

显然,实现二进制信息与外围设备产生(输入设备)或需要的信息(输出设备)的转换是在外围设备内部进行的。外围设备完成这种信息转换是需要时间的,计算机主机要确认它是否已经完成了这一转换,就需要在外围设备与主机之间增加一个接口电路。只要有一个外围设备,就需要一个对应的接口。计算机连接了多少个外围设备,就需要相应数量的外围设备接口。不同外围设备的接口一般是不同的,甚至差别很大,因为不同的外围设备需要进行不同的信息转换,并且完成这种信息转换的时间也不相同。例如,人们什么时候在键盘上按下一个键,这显然是随机的;打印机什么时候打印完一个字符,不同的打印机所需的时间并不一样。所以在接口中至少包含两类寄存器,即数据寄存器和状态寄存器。当我们按下一个键后,由键盘自己产生一个字节的字符代码,然后送到接口的数据寄存器中,并将状态寄存器中的完成标志位置 1,此时,计算机主机(CPU)可以从接口数据寄存器中取走数据,并将完成标志位清 0。当计算机主机(CPU)将要打印字符的 ASCII 码送到打印机接口,并将完成标志清 0 后,启动打印机开始打印;打印机打印完这个字符后,就将完成标志位置 1,告诉计算机主机(CPU)可以送来下一个要打印的字符代码。由此可见,计算机主机(CPU)是通过接口寄存器中的完成标志位来了解外围设备目前的工作状况的,而主机与外围设备之间的数据交换又是通过接口中的数据寄存器来完成的。所以说,不同外围设备的共同点就是,都有数据寄存器,也都有状态寄存器。

一般说来,主机与外围设备可以并行工作。例如,当 CPU 运行程序的时候,并不影响我们在相同时刻按键盘上的键,因为我们按那个键后所产生的二进制代码是存放在接口数据寄存器中的,并不影响 CPU 运行程序。然而,如果在按另一个键以前,CPU 还没有取走已经存放在数据寄存器中的数据,那么,当按下另一个键之后,数据寄存器中原有的数据就会丢失。为什么我们平时无论用多快的速度从键盘上输入数据,都不会丢失数据呢?这是因为:我们手工按键的速度相对于 CPU 取走一个字符数据的速度来说实在是太慢了。CPU 取走一个字符的时间大约为几十个毫微秒,而按一个键至少需要几十个毫秒。CPU 可以采

用不同的方法,及时感知接口中的完成标志位,从而取走已经输入的字符。同样,打印机在打印一个字符的时候,也不影响 CPU 运行程序,因为打印机正在打印的字符,已经在此之前由 CPU 送到接口的数据寄存器中了。打印机在打印完一个字符之后,便将接口中的标志位置 1,此后处于等待状态,直到 CPU 根据接口中的标志位得知打印机已经打印完了原来的字符,送来第二个字符的代码,并将接口中的标志位清 0,才又开始打印第二个字符。打印机打印完一个字符需要的最短时间是几十毫秒,而 CPU 送一个字符代码到打印机的接口数据寄存器的时间大约为几十个毫微秒。如果 CPU 不管打印机接口标志位的状态,不停地或随机地将字符代码送到接口数据寄存器中,打印机便无所适从,不知道要干什么,于是就会打印出乱码,或报告错误。

1.5.3 信息在主机系统中的活动

主机系统包括运算器、控制器、内存储器和外围设备接口。在此范围内,通常情况下可以说,所有控制信号都来自控制器。控制器控制的最远点就是外设接口。所有外围设备能完成的功能,都是在它们自己的控制系统的控制下实现的。它们可以在脱机状态下独立工作。在联机状态下,控制器只是向它们发送命令,启动它们工作;从它们的接口接收数据,或向它们的接口发送数据。

1. 主机系统中的信息类型

主机中的信息有数据信息、地址信息和控制信息 3 种类型。地址信息用来选择发出数据的源地址或接收信息的目标地址。地址信息一般是由程序计数器 PC 发出的,或是对指令的地址码部分加工的结果。数据信息分两种情况:第一种情况是,它就是要加工处理的数据;第二种情况是,当一条指令从内存中取出来的时候,依然作为普通数据来传送。控制信息是由控制器发出的,一般是对指令操作码部分的加工结果。

当信息存储在寄存器和内存中的时候是静态的,一般就称信息。当信息传送的时候就表现为信号,信号只在传送过程或加工中才存在于总线上,传送或加工过程一结束就从总线消失了。

2. 主机系统中的信息活动

主机系统中的信息活动,可以概括为传送、存储和加工。为了存储信息,主机系统中就需要有存储部件。所谓传送信息就是把信息从一个存储单元传送到另一个存储单元,这两个存储单元可能位于同一个存储部件中,也可能位于不同的两个存储部件中。主机系统中的存储部件主要有三大类,一类称为内存储器,另一类称为接口寄存器,还有一类则称为 CPU 寄存器组。位于 CPU 中的存储部件和位于外围设备接口中的存储部件一般称为寄存器,数量不多。位于 CPU 中的存储部件,一部分属于运算器,一部分属于控制器。内存储器中的一个存储单元相当于一个寄存器,通常存放一个字节(8 个二进制位)的数据;但内存储器的存储原理与寄存器的存储原理一般不同。

信息的传输通常使用总线来完成。若是控制信息,通常由控制器的微命令发生器上的引脚输出,直接用导线连接到需要控制部件的相应引脚。若是选择内存地址的信息,通常

是由控制器的 MAR 寄存器发出;若是选择接口寄存器地址的信息,通常也是由 MAR 寄存器发出,不过只取其若干低位,因为接口寄存器的存储单元比内存储器的存储单元少得多。若是选择 CPU 内部寄存器,一般由 CPU 内部属于控制器的指令寄存器的地址码部分的寄存器选择字段,经过译码器输出进行。若是传输数据,那么数据总线的一端连接在源存储部件数据输出端,另一端则连接在目的存储部件的数据输入端。一般来说,数据在两个直接相连的存储部件之间传送信息,那么,源端和目的端中必有一个是寄存器;当然,也可能源与目标都是寄存器。下面分两种情况来分析主机中信息的基本活动。

1) 信息传送

信息传送分三种情况:源和目标都是 CPU 寄存器;源和目标中一个是 CPU 寄存器,另一个是内存;源和目标都是内存。

(1) 源和目标都是 CPU 寄存器。由源寄存器选择信号选择一个寄存器中的数据,将其放置在 CPU 内部总线上,在本时钟周期末的节拍脉冲前沿,将数据打入目标寄存器。

(2) 源和目标中一个是 CPU 寄存器,另一个是内存。又分两种情况:若源是 CPU 寄存器,则在第一个时钟周期里将寄存器的数据打入 CPU 内的 MBR 寄存器;而在下一个时钟周期里将 MBR 中的数据写入内存。若源是内存,则在第一个时钟周期里,从内存读出数据,存入 CPU 的 MBR 寄存器;而在下一个时钟周期里将 MBR 寄存器中的数据打入目标寄存器。

(3) 源和目标都是内存。在第一个时钟周期里,从内存读出数据,存放在 MBR 寄存器中;在下一个时钟周期里,则将 MBR 中的数据写入内存。

由此可见,若在源与目标之间要经过许多中间存储单元,那么传送要依次进行。可以粗略地说,每两个直接相连的存储单元之间传送一次数据需要一个时钟周期,源与目标之间经过的存储部件越多,传送需要的总时间就越多。一条指令执行的时间长短,常常取决于数据传送需要经过的中间存储节点数。

2) 信息在传送过程中被加工

信息的加工是在其传送过程中实现的,但这个传输部件就不是一般的数据总线了。它通常是一个被称为 ALU 的运算部件,由逻辑门电路组成。这个运算部件有两个数据输入端,分别用来输入两个要加工的数据(如加、减、乘、除);有若干个控制信号输入,用来控制对输入数据的加工。ALU 的输出端便是对数据加工的结果。当然,也可以只对一个数据进行加工,此时,可以从两个数据输入端中的任何一个输入端输入要加工的数据。

这里有这样几个问题:被加工的数据来自何处;加工好了的数据去往何处;从数据进入 ALU、加工信息作用于 ALU 开始,要经过多少时间后,才能输出稳定的加工好了的数据。

(1) 被加工的数据来自何处。分三种情况:来自 CPU 寄存器;来自内存;一个来自 CPU 寄存器,另一个来自内存。

(2) 加工好了的数据去往何处。分两种情况:打入 CPU 寄存器;写入内存。

(3) 从数据进入 ALU、加工信息作用于 ALU 开始,一般是经过一个时钟周期后,才能输出稳定的加工好了的数据。