



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高等学校规划教材

计算机组成原理 (第2版)

罗克露 刘 辉 俸志刚 纪禄平 编
俸远祯 主审

计 算 机 学 科 教 学 计 划



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高等学校规划教材

计算机组成原理

(第2版)

罗克露 刘 辉 俸志刚 纪禄平 编

俸远楨 主审

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本书以当前主流微型计算机技术为背景,以建立系统级的整机概念为目的,深入介绍了计算机各功能子系统的逻辑组成和工作机制。全书共分7章。第1章概述计算机的基本概念和计算机系统的硬件、软件组织;第2章介绍数据信息和指令信息的表示方法;第3章介绍CPU子系统;第4章介绍存储子系统,讨论存储原理和主存储器的设计方法;第5章介绍I/O子系统,包括接口的基本知识,系统总线,以及中断和DMA等I/O传送控制机制;第6章介绍常用输入/输出设备的工作原理及信息转换过程;第7章以一个计算机硬件系统模型作为全书的总结。

本书可作为高等院校计算机及相关专业“计算机组成原理”及相关课程的教材,也可作为从事计算机专业的工程技术人员的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理/罗克露等编. —2版. —北京:电子工业出版社,2010.2

高等学校规划教材

ISBN 978-7-121-09546-7

I. 计… II. 罗… III. 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168264号

策划编辑:章海涛

责任编辑:章海涛

特约编辑:曹剑锋/王纲

印 刷:北京丰源印刷厂

装 订:涿州市桃园装订有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:23.75 字数:608千字

印 次:2010年5月第2次印刷

印 数:3000册 定价:33.50元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

第2版前言

《计算机组成原理》第1版（2004年由电子工业出版社出版）是在三本国家规划教材，即1985年出版的《计算机组成原理》（“六五”国家规划教材）、1996年出版的《计算机组成原理》修订本（“八五”国家规划教材，获教育部科技进步奖教材类三等奖）、1997年出版的《计算机组成原理与汇编语言程序设计》（“九五”国家规划教材）的基础上编写的。

本书对第1版教材进行了修订，并入选普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本书以当前主流微型计算机技术为背景，以建立系统级的整机概念为目的，深入地介绍了计算机各功能子系统的逻辑组成和工作机制。

全书共分7章，按照先建立CPU整机概念，再发展为主机，最后形成硬件系统的教学思路来安排各章节的内容。

第1章概述计算机的基本概念和计算机系统的硬件、软件组织，强调了信息的数字化表示和存储程序的工作方式这两个重要概念。第2章分别介绍数据信息和指令信息的表示方法，说明信息表示数字化在计算机中的具体体现。第3章介绍CPU子系统，将CPU作为集成化整体，通过一个具有基本功能的CPU模型，深入分析指令的执行过程，并详细阐明组合逻辑控制和微程序控制的设计方法。第4章介绍存储子系统，讨论存储原理和主存储器的设计方法，并介绍了提高存储系统性能的一些主要措施。第5章介绍I/O子系统，包括接口的基本知识，系统总线，并强调了中断和DMA等I/O传送控制机制。第6章介绍常用输入/输出设备的工作原理及信息转换过程。第7章给出一个计算机硬件系统模型，完整而简洁地描述了其系统组成和典型I/O操作，作为全书的总结。

本书的第1章、第3章由罗克露编写，第2章、第7章由俸志刚编写，第4章、第5章由纪禄平编写，第6章由刘辉编写，全书由罗克露统稿。电子科技大学俸远祯教授担任本书主审，作为前述“六五”、“八五”、“九五”等国家规划教材的主编，俸远祯教授对本书的编写给予了积极支持、热情关心和认真指导，在此谨向俸远祯教授表达我们衷心的感谢。本书在编写过程中还得到了电子科技大学教务处、计算机学院有关领导和老师们的支持与鼓励，以及电子工业出版社章海涛老师等的热情关怀，谨向他们表示诚挚的谢意。

本书还有配套的辅导书——《计算机组成原理课程设计》，包括本书的课程设计、学习指导和习题解答等内容。

由于水平有限，对书中的错误和不足之处，恳请广大读者批评指正，我们将不胜感激。

本书为任课教师提供配套的教学资源（包含电子教案），需要者可[登录华信教育资源网](http://www.hxedu.com.cn)站（<http://www.hxedu.com.cn>），注册之后进行[免费下载](#)，或发邮件到 unicode@phei.com.cn 进行[查询](#)（注明所在的学校及院系）。

作 者

目 录

第 1 章 概论	(1)
1.1 计算机的基本概念	(1)
1.1.1 计算机与诺依曼体制	(1)
1.1.2 信息的数字化表示	(2)
1.1.3 存储程序工作方式	(5)
1.2 计算机系统的组织	(6)
1.2.1 硬件系统	(6)
1.2.2 软件系统	(10)
1.2.3 系统组成的层次结构	(12)
1.2.4 硬件、软件的功能划分与逻辑上的等价	(15)
1.3 计算机的特点与性能指标	(16)
1.3.1 数字计算机的特点	(16)
1.3.2 计算机的主要性能指标	(16)
习题 1	(19)
第 2 章 计算机中的信息表示	(20)
2.1 数值型数据的表示方法	(20)
2.1.1 进位计数制	(20)
2.1.2 带符号数的表示	(26)
2.1.3 数的定点表示与浮点表示	(31)
2.2 字符表示	(36)
2.2.1 ASCII 码	(37)
2.2.2 汉字编码简介	(37)
2.3 指令信息的表示	(39)
2.3.1 指令格式	(39)
2.3.2 常见寻址方式	(44)
2.3.3 指令的功能和类型	(60)
习题 2	(69)
第 3 章 CPU 子系统	(71)
3.1 概述	(71)
3.1.1 CPU 的基本组成	(71)
3.1.2 时序控制方式	(77)
3.1.3 控制器分类	(80)
3.1.4 CPU 与外部的信息交换	(81)

3.2	算术、逻辑运算部件	(89)
3.2.1	加法单元	(89)
3.2.2	并行加法器与进位逻辑结构	(90)
3.2.3	多功能算术、逻辑运算部件	(92)
3.2.4	运算器组织	(96)
3.3	运算方法	(98)
3.3.1	定点加减运算	(98)
3.3.2	溢出判断与移位	(100)
3.3.3	定点乘法运算	(103)
3.3.4	定点除法运算	(111)
3.3.5	浮点四则运算	(116)
3.4	CPU 模型	(118)
3.4.1	CPU 设计步骤	(119)
3.4.2	模型机的指令系统	(119)
3.4.3	模型机的组成与数据通路	(123)
3.5	组合逻辑控制方式	(127)
3.5.1	组合逻辑控制器时序系统	(127)
3.5.2	指令流程与操作时间表	(129)
3.5.3	微命令的综合与产生	(139)
3.6	微程序控制方式	(140)
3.6.1	微程序控制的基本原理	(140)
3.6.2	微指令的编码方式与微地址的形成方式	(142)
3.6.3	模型机微指令格式	(145)
3.6.4	模型机微程序设计	(148)
3.7	典型 CPU 简介	(154)
3.7.1	Intel 8086/8088	(155)
3.7.2	Intel 80386/80486	(158)
3.7.3	Pentium 微处理器	(161)
3.7.4	Alpha 微处理器	(163)
3.7.5	CRAY-1	(164)
3.7.6	Transputer	(166)
习题 3		(167)
第 4 章	存储系统	(169)
4.1	概述	(169)
4.1.1	存储系统的层次结构	(169)
4.1.2	物理存储器与虚拟存储器	(172)
4.1.3	存储器的分类	(173)
4.1.4	存储器系统的关键特性	(176)

4.2	半导体存储原理及存储芯片	(177)
4.2.1	双极型存储单元与芯片	(177)
4.2.2	静态 MOS 存储单元与芯片	(180)
4.2.3	动态 MOS 存储单元与芯片	(184)
4.2.4	半导体只读存储器与芯片	(189)
4.3	主存储器的组织	(193)
4.3.1	主存储器设计的一般原则	(193)
4.3.2	主存储器的逻辑设计	(194)
4.3.3	主存储器与 CPU 和系统总线的连接	(196)
4.3.4	主存储器芯片技术	(199)
4.3.5	动态存储器的刷新	(202)
4.3.6	主存储器的校验	(203)
4.4	磁表面存储器的存储原理	(205)
4.4.1	记录介质与磁头	(205)
4.4.2	读写原理	(207)
4.4.3	磁记录方式	(208)
4.4.4	磁表面存储器的校验	(212)
4.5	光存储原理	(216)
4.5.1	光存储部件	(216)
4.5.2	光存储原理	(217)
4.6	提高存储系统性能的一些措施	(219)
4.6.1	高速缓冲存储器	(219)
4.6.2	虚拟存储器	(223)
4.6.3	双端口存储器	(227)
4.6.4	并行存储器	(228)
4.6.5	相联存储器	(231)
习题 4		(233)
第 5 章	输入/输出系统	(235)
5.1	概述	(235)
5.1.1	主机与外部设备的连接模式	(236)
5.1.2	总线类型与总线标准	(238)
5.1.3	接口功能与接口分类	(241)
5.2	系统总线	(243)
5.2.1	总线设计的要素	(243)
5.2.2	系统总线的信号组成	(248)
5.3	直接程序传送方式与接口	(251)
5.4	中断方式与接口	(253)
5.4.1	中断方式基本概念	(253)

5.4.2	中断请求	(257)
5.4.3	中断判优	(259)
5.4.4	中断响应	(263)
5.4.5	中断处理	(266)
5.4.6	中断接口组成模型	(268)
5.4.7	中断接口举例	(272)
5.5	DMA 方式与接口	(275)
5.5.1	DMA 方式基本概念	(276)
5.5.2	DMA 控制器与接口的连接	(279)
5.5.3	DMA 控制器的组成	(283)
5.5.4	DMA 传送操作过程	(286)
5.5.5	DMA 接口举例	(287)
习题 5		(293)
第 6 章	输入/输出设备及接口	(295)
6.1	概述	(295)
6.1.1	输入/输出设备的一般功能	(295)
6.1.2	输入/输出设备的类型	(296)
6.1.3	输入/输出设备与主机系统间的信息交换	(299)
6.2	键盘及接口	(300)
6.2.1	键的类型	(300)
6.2.2	硬件扫描键盘	(302)
6.2.3	软件扫描键盘及接口电路	(303)
6.3	显示设备及接口	(307)
6.3.1	概述	(307)
6.3.2	显示技术中的相关术语	(308)
6.3.3	显示方式与显示规格	(309)
6.3.4	光栅扫描成像原理	(311)
6.3.5	屏幕显示与显示缓存间的对应关系	(315)
6.3.6	显示适配器	(321)
6.4	打印设备及接口	(322)
6.4.1	概述	(322)
6.4.2	打印机的相关性能指标	(323)
6.4.3	点阵针式打印机	(324)
6.4.4	激光打印机	(328)
6.4.5	喷墨打印机	(331)
6.4.6	打印机适配器	(333)
6.5	磁盘存储器及接口	(334)
6.5.1	软盘存储器	(335)

6.5.2	硬盘存储器	(339)
6.5.3	磁盘适配器	(346)
6.6	光盘存储器	(349)
6.6.1	概述	(349)
6.6.2	光盘存储器的读写原理	(350)
6.6.3	光盘存储器的特性	(351)
6.6.4	光盘驱动器	(351)
6.7	其他常用的输入/输出设备	(353)
6.7.1	光学字符识别设备	(353)
6.7.2	图形图像输入设备	(354)
6.7.3	语音识别设备	(355)
6.7.4	条形码识别仪	(356)
习题 6		(357)
第 7 章	计算机硬件系统模型	(358)
7.1	模型机系统及其信号互连	(358)
7.1.1	系统组成	(358)
7.1.2	系统总线	(359)
7.1.3	各部件的信号线	(360)
7.2	模型机典型 I/O 操作举例	(364)
7.2.1	直接程序控制方式的 I/O 操作	(364)
7.2.2	程序中断方式下的 I/O 操作	(365)
7.2.3	DMA 方式下的 I/O 操作	(366)
7.3	系统配置举例	(367)
习题 7		(369)
参考文献		(370)

第 1 章 概 论

“计算机组成原理”这门课程的主要内容是以单机系统为对象，阐述计算机系统的硬件组成，其核心是建立计算机系统的整机概念。这里的“整机概念”包括两方面，即计算机系统的逻辑组成和工作机制。本书将从 CPU 级和硬件系统级这两个层次逐步建立整机概念。为此，本章首先阐明三个重要的基本概念：信息的数字化表示、存储程序工作方式和计算机系统的层次结构。我们将以上概念作为了解计算机的逻辑组成与工作机制的基本出发点。

1.1 计算机的基本概念

1.1.1 计算机与诺依曼体制

计算机是 20 世纪人类最伟大的发明之一，它通过自动、连续地运行程序，能够代替人类完成各种复杂的计算，实现对各类信息的处理。

一个计算机系统由硬件和软件两大部分组成。硬件是指看得见、摸得着的设备实体，包括运算器、控制器、存储器、输入设备、输出设备等，如图1-1所示。软件则不能直接触摸，如程序、文档等。构造硬件的基本思想是处理功能逻辑化，即用逻辑电路构造各种功能部件，如用门电路、触发器来构造运算器、控制器、存储器等。在硬件基础上，可以根据需要配置各种软件，如操作系统、编程语言、各种支撑软件等。硬件与软件按层次结构组成复杂的计算机系统。

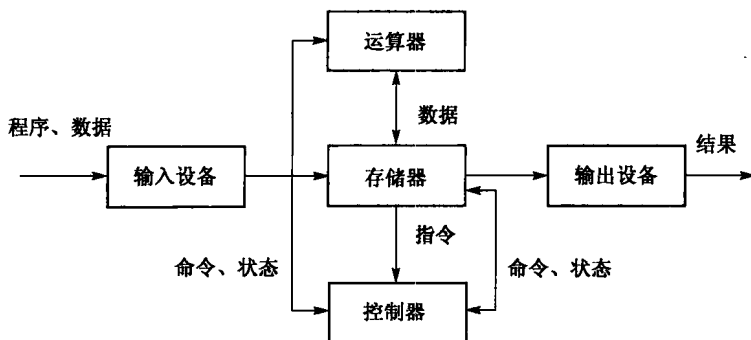


图 1-1 计算机组成示意图

计算机系统是如何工作的呢？不管是做一次复杂的数学计算，还是对大量的数据进行查询，或者对一个过程实现自动控制，用户都必须按照处理的步骤，用编程语言事先编写程序，然后通过输入设备（如键盘）将程序和需处理的数据送入计算机，存放在存储器中。用户编写的程序称为源程序，是不能被计算机直接执行的。计算机只能执行机器指令，即要求计算机完成某种操作的命令，简称指令，如执行加法操作的加法指令、执行乘法操作的乘法指令、执行传送操作的传送指令等。因此，计算机在运行程序之前，必须将源程序转换为指令序列，并将这些指令按一定顺序存放在存储器的若干个单元中。每个单元都有一个固定的编号，称为地址。只要给出某个地址，就能访问相应的存储单元，对该单元的内容进行读/写操作。

当计算机启动运行后，控制器将某个地址送往存储器，从该地址单元取回一条指令。控制器根据这条指令的含义，发出相应的操作命令，控制该指令的执行。比如，执行一条

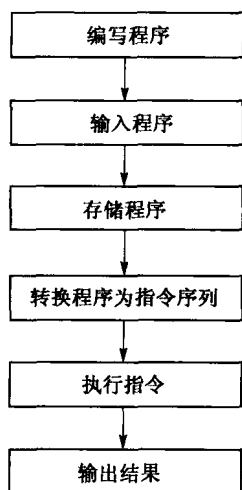


图 1-2 计算机工作流程

加法指令，先要从存储单元或寄存器取出操作数，送入运算器，再将两个操作数相加，并将运算处理的结果送回存储单元或寄存器存放。如果用户要了解处理结果，则计算机可通过输出设备（如显示器、打印机等），将结果显示在屏幕上，或打印在纸上。图 1-2 给出了计算机的简单工作流程。

从以上描述可以看出，计算机作为一个处理信息的工具，首先要解决两个最基本的问题：第一，信息如何表示，才能被计算机识别；第二，采用什么工作方式，才能使计算机自动地对信息进行处理。对这两个问题的解决做出杰出贡献并产生深远影响的是一位美籍匈牙利数学家冯·诺依曼。他在 1945 年提出的 EDVAC 计算机设计方案中总结了计算机的设计思想，被称为诺依曼思想，采用这一思想体制的计算机就称为诺依曼机。几十年来，尽管计算机的体系结构发生了许多演变，但诺依曼体制的核心思想仍然是普遍采用的结构原则，现在绝大多数使用的计算机仍属于诺依曼机。

诺依曼体制的主要思想包括：① 采用二进制代码形式表示信息（数据、指令）；② 采用存储程序工作方式（这是诺依曼思想最核心的概念）；③ 计算机硬件系统由五大部件（存储器、运算器、控制器、输入设备和输出设备）组成。

这些思想奠定了现代计算机的基本结构，并开创了程序设计的新时代。当然，从本质上讲，传统的诺依曼机采用串行处理的工作机制，即逐条执行指令序列。要想提高计算机的性能，其根本方向之一是采取并行处理机制，如用多个处理部件形成流水线，依靠时间上的重叠来提高处理效率，或者用多个诺依曼机组组成多机系统，以支持并行算法等。

我们学习计算机工作原理应该从了解诺依曼思想入门，因此本节先讨论信息的数字化表示和存储程序工作方式这两个要点，1.2 节再讨论硬件系统的组成。

1.1.2 信息的数字化表示

我们已知道，计算机是通过执行程序（指令序列）来实现对数据的加工处理的。因此，计算机中的信息可以分为两大类：控制信息和数据信息。控制信息用来控制计算机的工作。计算机执行指令时，用指令产生的控制命令（称为微命令）控制有关操作，所以指令序列和微命令序列属于控制信息类。数据信息是计算机加工处理的对象。计算机根据指令要求取出的操作数以及对操作数处理的结果等，都属于数据信息类。数据信息又分为数值型数据和非数值型数据两类。数值型数据有数值大小与正负之分，如 6、-15 等。非数值型数据则无数值大小，也不分正数负数，如字符、文字、图像、声音等人们能够识别的信息，以及条件、状态、命令等用于判定的逻辑信息。那么，在计算机中如何表示这些信息呢？

前面讲过，计算机的主要部件是用逻辑电路，即电子电路构成的，所以，在电子数字计算机中传送与处理的信息都采用数字化表示方法。信息的数字化表示包含了两层含义：① 用数字代码表示各种信息；② 用数字信号表示数字代码。信息表示数字化这一重要概念是我们理解计算机工作原理的一个基本出发点。下面通过几个例子对这两层含义加以说明。

1. 在计算机中用数字代码表示各种信息

数字代码是指一组数字的集合，这里的数字代码通常指二进制数字代码。我们可以根据需要描述的信息（某类控制信息或某类数据信息），用一组约定了含义的数字代码来表示它。

【例 1-1】用数字代码表示数值型数据。

6 和-7 是两个数值型数据。可以约定，用一位二进制代码表示每个数的符号，如用 0 表示正数，用 1 表示负数；再用 4 位二进制代码表示每个数的大小。这样，代码 00110 表示 6（左边第一个 0 代表正号），代码 10111 表示-7（左边第一个 1 代表负号）。

当然，也可以用 8 位二进制代码表示一个数的大小。代码位数增多，数的表示范围将扩大。例如，用 4 位二进制代码不能表示 200 这个数，但用 8 位二进制代码则可以表示它。

【例 1-2】用数字代码表示字符。

字符本身没有大小和正负之分，但仍然可以用数字代码来表示它。计算机中常约定用 7 代码表示一个西文字符，如用 1000001 表示字符 A，用 1000010 表示字符 B；或用 7 位代码表示一个控制字符，如用 0001100 表示换页（FF），用 0001101 表示回车（CR）。字符的这种编码称为 ASCII 码，是国际上广泛采用的一种字符表示方法。另外，还可以约定用两组 8 位二进制代码表示一个中文字符，如用 01010110 01010000 表示“中”，用 00111001 01111010 表示“国”等。总之，用数字代码可以表示各种字符，而以字符为基础又可以表示范围广泛的各种文字。

【例 1-3】用数字代码表示图像。

字符的种类总是有限的，因而可以用若干位编码来表示。图像则不然，其变化是无穷无尽的，那么，如何用数字代码来表示这些随机分布的图像信息呢？实际上，一幅图像可以被细分为若干个点，这些点称为像素。也就是说，我们可以用像素的组合来逼近真实的图像。图像划分得越细，像素越多，组成的图像也就越真实。按照信息表示数字化的思想，可以用数字代码表示像素。例如，用一位代码表示一个像素，若像素是亮的，则用代码 1 表示；若像素是暗的，则用代码 0 表示。再将表示一幅图像所有像素的代码按照像素在图像中的位置进行组织，就可以实现用数字代码来表示图像了。

【例 1-4】用数字代码表示声音。

为了对声音信息数字化，首先要将声波转换为电流波，再按一定频率对电流波进行采样，即在长度相同的时间间隔内分别对电流波的幅值进行测量，每次测到的电流幅值都用一个数字量来表示。只要采样频率足够高，所得到的数字信息就能逼真地保持声波信息，还原后真实地再现原来的声音。

【例 1-5】用数字代码表示指令。

指令属于控制信息。通常，一条指令需提供要求计算机做什么操作，以及如何获取操作数等信息。因此，可以用一段数字代码表示操作类型，这段代码称为操作码；用另一段代码表示获取操作数的途径，这段代码称为地址码。将操作码和地址码组合在一起，就形成了机器指令代码。例如，操作码取 4 位，可以约定，0000 表示传送操作，0001 表示加法操作，0010 表示减法操作……地址码取 12 位，用 6 位表示一个操作数的来源，用其余 6 位表示另一个操作数的来源。例如，约定 000000 表示操作数来自 0 号寄存器，000001 表示另一操作数来自 1 号寄存器。这样，16 位代码 0001000000000001 表示一条加法指令，其含义是将 0 号寄存器的内容与 1 号寄存器的内容相加，结果存放在 1 号寄存器中。

【例 1-6】用数字代码表示设备状态。

计算机在工作时往往需要了解外部设备的状态，根据外设状态决定做什么操作。不同的外部设备可能有不同的工作状态，如打印机将字符打印在纸上，而显示器则将字符显示在屏幕上。这些设备的状态可以抽象、归纳为三种：空闲（设备没有工作）、忙（设备正在

工作)、完成(设备做完一次操作)。相应地,可以用约定的数字代码表示这三种状态,如用00表示空闲,01表示忙,10表示完成。

2. 在物理机制上用数字信号表示数字代码

为什么要用数字代码来表示各种信息呢?这就涉及计算机的物理机制。计算机是一种复杂的电子线路,传送和处理的实际对象是电信号。电信号又分为模拟信号和数字信号两种。

模拟信号是一种随时间连续变化的电信号,如电流信号、电压信号等。我们可以用电流或电压的幅值来模拟数值或物理量的大小,如模拟温度的高低、压力的大小等。处理模拟信号的计算机称为模拟计算机,只应用在极特殊的领域中。用模拟信号表示数据的大小有许多缺点,如表示的精度低、表示的范围小、抗干扰能力弱、不便于存储等。而用数字信号表示信息则可以克服以上缺点。

数字信号是一种在时间上或空间上断续变化的电信号,如电平信号和脉冲信号。单个数字信号一般只取两种状态,如电平的高或低、脉冲的有或无,这样就可以用这两种状态分别表示数字代码1和0,称为二值逻辑。比如,用高电平状态表示1,低电平状态表示0;或者用有脉冲的状态表示1,无脉冲的状态表示0。用1位数字信号表示1位数字代码,用多位数字信号的组合就可以表示多位数字代码。处理数字信号的计算机称为数字计算机,电平信号和脉冲信号是数字计算机中最基本的信号形式。用数字信号可以表示数字代码,用数字代码又可以表示各种信息,因而数字计算机能用于各行各业,处理广泛的信息。下面通过两个例子说明如何用多位数字信号的组合来表示多位数字代码。

【例1-7】用一组电平信号表示4位数字代码。

电平信号利用信号电平的高、低状态表示不同的代码,所以电平信号通常需要一段有效维持时间。可以用4根信号线分别输出4个电平信号,每个电平信号表示1位代码。我们约定,+5V为高电平,表示1;0V为低电平,表示0。如图1-3所示,4位电平信号表示4位数字代码1011,它们可能表示一个4位的二进制数,也可能表示一个命令或一种状态的编码。

每一位信号各占用一根信号线,因而这一组电平信号在空间上的分布是离散的。在计算机中常用电平信号表示并行传送的信息,如用若干根信号线同时传送的数据、地址或其他信息的编码。

【例1-8】用一串脉冲信号表示4位数字代码。

与电平信号不同,脉冲信号的电平维持时间很短,如信号电平从0V向+5V(或-5V)跳变,维持极短时间后再回到原来的0V状态。因此,信号出现时其电平为+5V(或-5V),

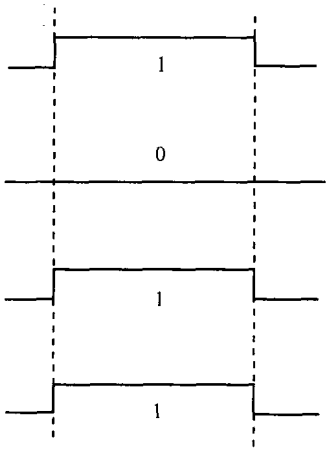


图1-3 用一组电平信号表示多位数字代码

信号未出现时其电平为0V,如图1-4所示。由于脉冲信号在时间上的分布是离散的,因而可以用一根信号线发出一串脉冲信号,在约定的时间内有脉冲表示1,无脉冲表示0。图1-4中的脉冲串表示4位数字代码1011。



图1-4 用一串脉冲信号表示多位数字代码

可以用脉冲信号的上升边沿或下降边沿表示某一时刻,对某些操作定时。例如,在脉冲上升边沿将数据送入某个寄存器中。另外,在计算机中常常用脉冲信号表示串行传送的数据。

从事计算机技术工作的重要基础是善于用约定的数字代码表示各种需要描述的信息。

这里再次强调信息数字化这一重要概念：① 计算机中的各种信息用数字代码表示，这些信息包括数值型的数字、非数值型的字符、图像、声音以及逻辑型的命令、状态等；② 数字代码中的每一位用数字信号表示，数字信号可以是电平信号或脉冲信号。

3. 用数字化方法表示信息的主要优点

(1) 在物理上容易实现信息的表示与存储

每一位信号只取两种可能的状态表示 1 或 0，因而在物理上可以用多种方法来实现，如开关的接通或断开、晶体管的导通或截止、电容上有电荷或无电荷、磁性材料的正向磁化或反向磁化、磁化状态的变化或不变等。凡是具有两种稳定状态的物理介质均可用来存储信息，如用双稳态触发器存储信息，或利用电容上存储的电荷来存储信息，还可以用磁性材料记录信息，或者用激光照射过的介质记录信息。

(2) 抗干扰能力强，可靠性高

由于单个数字信号的两种状态（高电平与低电平，或者有脉冲与无脉冲）差别较大，即使信号受到一定程度的干扰，仍然能比较可靠地鉴别出电平的高低或信号的有无。例如，高电平+5 V 表示 1，低电平 0 V 表示 0，假设信号处于 0 状态，如果出现了 2 V 的干扰信号，也不会将原来信号的 0 状态改变到 1 状态。

(3) 数值的表示范围大，表示精度高

一位数字信号的表示范围很窄，但用多位数字信号的组合表示一个数时，可以获得很大的表示范围和很高的精度。例如，用 4 位电平信号表示一个 4 位的二进制整数时（不考虑符号），能够表示的最大数值是 15。若表示一个 4 位的二进制小数，同样不考虑符号，则数的精度为 2^{-4} 。位数越多，数的表示范围越大，或者数的表示精度越高。从理论上讲，位数的增加是没有限制的，但位数增多，所花费的硬件开销也相应增大。

(4) 可表示的信息类型极其广泛

各种非电量类型的信息可以先转换为电信号，模拟电信号又可以转换为数字电信号，因此表示的信息类型和范围几乎没有限制。

(5) 能用数字逻辑技术进行信息处理

根据处理功能逻辑化的思想，计算机的所有操作最终是用数字逻辑电路来实现的。因此，用逻辑代数对信息进行处理，就形成了计算机硬件设计的基础，可以用非常有限的几种逻辑单元（如与门、或门、非门等）构造出变化无穷的计算机系统和其他数字系统。

1.1.3 存储程序工作方式

存储程序是诺依曼思想的核心内容，表明了计算机的工作方式，包含以下三个要点：事先编制程序，先存储程序，自动、连续地执行程序。这三点体现了用计算机求解问题的过程，下面分别加以说明。

1. 根据求解问题事先编制程序

计算机处理任何复杂的问题都是通过执行程序来实现的。因此，在求解某一问题时，用户要根据解决这一问题所采用的算法事先编制程序，规定计算机需要做哪些事情，按什么步骤去做。程序中还应提供需要处理的数据，或者规定计算机在什么时候、什么情况下从输入设备取得数据，或向输出设备输出数据。

2. 事先将程序存入计算机中

如前所述，用户用某种编程语言编写的程序称为源程序，它是由字符组成的，计算机不能识别。因此，需要通过输入设备将源程序转换为二进制代码，送入计算机的存储器中。这时的程序还不是指令代码，不能被计算机执行，还需进一步转换为符合某种格式的机器指令序列。所以，事先编写的程序最终将变为指令序列和原始数据，并被保存在存储器中，提供给计算机执行。

3. 计算机自动、连续地执行程序

程序已经存储在计算机内部，计算机被启动后，不需要人工干预，就能自动、连续地从存储器中逐条读取指令，按指令要求完成相应操作，直到整个程序执行完。当然，在某些采用人机对话方式工作的场合，也允许用户以外部请求方式干预程序的运行。

指令和数据都是以二进制代码的形式存放在存储器中，那么计算机如何区分它们？又如何自动地从存储器中读取指令呢？首先，将指令和数据分开存放。由于在多数情况下程序是顺序执行的，因此大多数指令需要依次紧靠着存放，而将数据放在该程序区中不同的区间。其次，可以设置一个程序计数器（Program Counter, PC），用它存放当前指令所在的存储单元的地址。如果程序顺序执行，则在读取当前指令后将 PC 的内容加 1（当前指令只占用一个存储单元），指示下一条指令的地址。如果程序要进行转移，则将转移目标地址送入 PC，以便按照转移地址读取后续指令。所以，依靠 PC 的指示，计算机就能自动地从存储器中读取指令，再根据指令提供的操作数地址读取数据。

对于传统的诺依曼机而言，存储程序工作方式是一种控制流驱动方式，即按照指令的执行序列依次读取指令，再根据指令所含的控制信息调用数据进行处理。这里的控制流也称为指令流，是指在程序执行过程中，各条指令逐步发出的控制信息，它们始终驱动计算机工作。而依次被处理的数据信息称为数据流，它们是被驱动的对象。

1.2 计算机系统的组织

1.2.1 硬件系统

在诺依曼体制中，计算机硬件系统是由存储器、运算器、控制器、输入设备和输出设备五大部件组成的。随着计算机技术的发展，硬件系统的组成已发生了许多重大变化，如运算器和控制器已组合成一个整体，称为中央处理器（Central Processing Unit, CPU）；存储器已成为多级存储器，包含主存、外存和高速缓存三个层次。下面先以目前常见的计算机硬件系统组成为例，讨论系统中各部件应该具有哪些功能，以及这些部件通过什么方式相互连接构成整机等硬件设计方面的问题，然后简单介绍一些典型的硬件系统结构。

1. 常见计算机硬件系统组成

图 1-5 是一个常见的计算机硬件系统结构示意图。系统中有 CPU、存储器、输入/输出（I/O）设备和接口等部件，它们通过系统总线相连接。

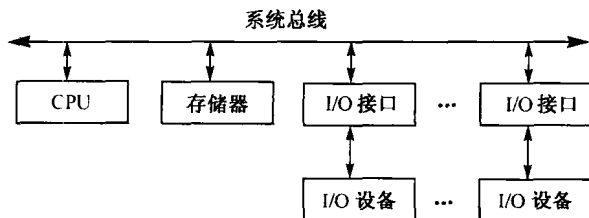


图 1-5 常见计算机硬件系统结构

(1) CPU

CPU 是计算机硬件系统的核心部件，在微型计算机系统或其他应用大规模集成电路技术的系统中，它被集成在一块芯片上，构成微处理器。CPU 的主要功能是读取并执行指令，在执行指令的过程中，它向系统中的各个部件发出各种控制信息，收集各部件的状态信息，与各部件交换数据信息。

CPU 由运算部件、寄存器组和控制单元组成，它们通过 CPU 内部的总线相互交换信息。运算部件完成算术运算（定点数运算、浮点数运算）和逻辑运算。寄存器组用来存放数据信息和控制信息。控制单元提供整个系统工作所需的各种微命令，这些微命令可以通过若干组合逻辑电路产生，称为组合逻辑控制方式；也可以通过执行微程序产生，称为微程序控制方式。

(2) 存储器

存储器用来存储信息，包括程序、数据、文档等。如果存储器的存储容量越大、存取速度越快，那么系统的处理能力也就越强，工作速度也就越高。但是一个存储器很难同时满足大容量、高速度的要求，因此常将存储器分为主存、外存、高速缓存三级存储器。

主存用来存放 CPU 需要使用的程序和数据。主存的每个存储单元都有固定的地址，CPU 可以按地址直接访问它们。因此，主存的速度较快，但容量有限。通常用半导体存储器构成主存。一般将 CPU 和主存合称为主机，因主存在主机之内，所以又称为内存。

外存位于主机之外，用来存放大量的需要联机保存但 CPU 暂不使用的程序和数据。需要时，CPU 并不直接按地址访问它们，而是按文件名将它们从外存调入主存。因此，外存的容量很大，但存取速度比主存慢，如磁盘、光盘等都是常用的外存。

高速缓存（Cache）是为了提高 CPU 的访存速度，在 CPU 和主存之间设置的一级速度很快的存储器，容量较小，用来存放 CPU 当前正在使用的程序和数据。高速缓存的地址总是与主存某一区间的地址相映射，工作时 CPU 首先访问高速缓存，如果未找到所需的内容，再访问主存。高速缓存由高速的半导体存储器构成。在现代计算机中，常将高速缓存集成在 CPU 内部，称为片内 Cache，或称为一级 Cache；也可以在 CPU 外部再设置一级高速缓存，称为片外 Cache，或称为二级 Cache。

(3) 输入/输出设备

输入设备将各种形式的外部信息转换为计算机能够识别的代码形式送入主机。常见的输入设备有键盘、鼠标等。输出设备将计算机处理的结果转换为人们所能识别的形式输出。常见的输出设备有显示器、打印机等。

从信息传送的角度来看，输入设备和输出设备都与主机之间传送数据，只是传送方向不同，因此常将输入设备和输出设备合称为输入/输出（Input/Output, I/O）设备。它们在逻辑划分上位于主机之外，又称为外围设备或外部设备，简称外设。磁盘、光盘等外存既可见成存储系统的一部分，也可看成具有存储能力的 I/O 设备。

(4) 总线

总线是一组能为多个部件分时共享的信息传送线。现代计算机普遍采用总线结构，用一组系统总线将 CPU、存储器和 I/O 设备连接起来，各部件通过这组总线交换信息。任一时刻只能允许一个部件或设备向总线发送信息，否则会引起信息的碰撞；但允许多个部件同时从总线接收信息。

根据系统总线上传送的信息类型，系统总线可分为地址总线、数据总线和控制总线。地址总线用来传送 CPU 或外设发向主存的地址码。数据总线用来传送 CPU、主存以及外设

之间需要交换的数据。控制总线用来传送控制信号，如时钟信号、CPU 发向主存或外设的读/写命令、外设送往 CPU 的请求信号等。

(5) 接口

在图 1-5 中，为什么系统总线与 I/O 设备之间设置了接口部件？这是因为计算机系统通常采用标准的系统总线，每种总线标准都规定了其地址线和数据线的位数、控制信号线的种类和数量等。但计算机系统所连接的各种外部设备并不是标准的，在种类与数量上都是可变的。因此，为了将标准的系统总线与各具特色的 I/O 设备连接起来，需要在系统总线与 I/O 设备之间设置一些部件，它们具有缓冲、转换、连接等功能，这些部件称为 I/O 接口。

计算机的各种操作都可以归结为信息的传送。信息在计算机中沿着什么途径传送将直接影响硬件系统结构。我们将信息在计算机中的传送途径称为数据通路结构。因此，硬件系统结构的核心是数据通路结构。不同类型的计算机，如传统的微型机、小型机和大、中型机，其功能的侧重点不同，因而它们的数据通路结构是有区别的。下面介绍几种典型的计算机硬件系统结构及其特点。

2. 典型的硬件系统结构及其特点

(1) 以总线为基础的系统结构

微型机和小型机系统往往侧重于以较低的硬件代价实现较强的系统功能，因此常用一组系统总线作为系统中互连的基础，连接 CPU、存储器和 I/O 接口，再通过接口连接外部设备，见图 1-5。我们已经在前面对这种总线结构形态作了描述，其主要特点如下：

- ◎ 数据通路结构简洁——用一组总线代替各部件之间杂乱的连线，系统中各个部件都通过这组总线传送信息。
- ◎ 数据传送控制方便——发送部件通过三态门或 OC 组件向总线发送数据，控制逻辑用接收信号选择一个或多个部件从总线接收数据。
- ◎ 系统扩展易于实现——I/O 设备都是通过接口挂接在总线上的，只要总线负载允许，就可以增加新的接口，往总线上挂接新的 I/O 设备了。

在实际机器中可能采用不同的总线结构。例如，IBM-PC 微型计算机中采用了多级总线结构，在系统板上设置了一组总线，称为局部总线，它将 CPU、主存、一些外围芯片连接成一个最小规模的系统。局部总线通过总线控制器和锁存器，扩展为 PC 总线，即系统总线。系统总线再通过接口部件连接各种外部设备，组成最大系统模式。

又如，多微处理器系统中使用了一种多机互连总线 Multibus II，它将系统总线划分为若干组子总线。其中，并行系统总线用来实现多个 CPU 之间的互连，存储总线用于高速访问存储器，系统扩充 I/O 总线、多通道 DMA I/O 总线等用于访问外部设备。

总之，总线结构是一种将各个部件连接成整机的基本结构，在实现上允许有多种变化。

(2) 采用通道或输入/输出处理机的大型系统结构

大、中型计算机系统的构成更着重于扩大系统的处理功能与提高系统的运行速度，这就使得系统需处理的数据量大大增加，需管理的外设种类和数量也大大增多。因此，在大、中型计算机中，CPU 内部常采用多个运算处理部件，主存采用多个存储体交叉访问体制，采用多级存储体系，采用通道或输入/输出处理机来管理输入/输出操作。典型的大型系统结构在系统连接上形成主机、通道、I/O 控制器、I/O 设备等四级结构，如图 1-6 所示。