

高等学校试用教材

汇编语言程序设计

(IBM370系统)

胡久清 陈世鸿 何炎祥 编

高等学校试用教材

汇编语言程序设计

(IBM370系统)

胡久清 陈世鸿 何炎祥 编

高等教育出版社

本书以 IBM370 机为背景,介绍了汇编语言程序设计的基本概念、基本原理和一般方法。其主要内容有:计算机发展概况,计算机基本结构,计算机中数的表示,程序设计的一般概念,汇编语言与汇编程序,分支、循环和子程序的程序设计,宏汇编,输入输出与中断,作业控制,编辑、连接与装配程序等。另外,本书还介绍了汇编语言程序设计的一些基本方法和技巧。

本书可作为高等学校计算机软件专业的教材或教学参考书,也可供 IBM370 机的维护人员和有关技术人员阅读参考。

责任编辑:鲍涌

高等学校试用教材
汇编语言程序设计
(IBM 370 系统)

胡久清 陈世鸿 何炎祥 编

*

高等教育出版社出版
新华书店北京发行所发行
通县觅子店印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 21.5 字数 480,000

1985 年 10 月第 1 版 1985 年 11 月第 1 次印刷

印数 00,001—8,300

书号 13010·01131 定价 3.75 元

前 言

本书是根据原教育部计算机软件专业教学计划与教学大纲编写而成的。

本书是以 IBM370 汇编语言为工具，叙述了汇编语言程序设计的基本概念、基本原理和方法。其内容包括数制、IBM370 汇编语言、分支程序、循环程序、子程序、输入输出和中断处理程序等。

全书共八章。第一章为计算机简介，主要从汇编语言程序设计的角度叙述了计算机的基本结构及其特性；计算机中的数制及其表示方法，以及程序设计的一般概念。第二章为汇编语言与汇编程序，介绍 IBM370 汇编语言的基本面貌。进一步的细节和其它材料则分散在以后的各章中介绍。第三、四章为分支、循环、子程序设计，在叙述这些基本方法的同时，也叙述运用 IBM370 汇编语言某些成分（如定点、浮点、十进制、逻辑运算指令等）进行数值与非数值计算的程序设计方法，以及关于程序风格、效率、排错技术的讨论。对这些程序设计的基本方法，本书着重讲述如何用汇编语言来实现。第五章为宏汇编语言，叙述宏功能的作用及 IBM370 宏汇编语言。第六章为程序设计的其它方法，着重叙述程序的浮动与再入，程序的连接方法。第七章为输入输出和中断程序设计，叙述输入输出、中断的一些基本概念和基本的程序设计方法。第八章为 IBM370 的作业控制语言、编辑程序、连接装配程序简介。在各章之后，有一定数量的习题，可供读者练习。附录 A 选有若干汇编语言程序，供读者阅读分析。其它附录则为 IBM370 系统和汇编语言的有关资料，可供读者查阅。

本书可作为高等学校计算机软件专业的教材或教学参考书，也可供 IBM370 系列计算机维护人员和有关技术人员阅读参考。书中凡有*号的章节可以不作为讲授内容。

本书吸收了我们多年来在汇编语言程序设计方面的工作、教学实践的一些成果和体会，并曾以讲义的形式在武汉大学计算机科学系八〇、八一、八二级学生中讲授过。在编写过程中参考了国外有关教材和国内兄弟院校的有关教材和资料，并得到了武汉大学计算机科学系软件教研室同志们的支持和帮助。曹加恒同志对本书的内容提出了许多宝贵意见并提供了有益的材料，华北计算所屈冬梅同志也给予了热情的支持，在此一并表示衷心感谢。

由于我们水平有限，书中错误与不妥之处在所难免，敬请读者批评指正，不胜感激。

编者

一九八三年七月于武大

目 录

第一章 电子计算机简介1	第四章 子程序设计165
1.1 计算机发展概况.....1	4.1 主程序与子程序的概念.....165
1.2 计算机的基本结构与特性.....3	4.2 主程序与子程序间的连接和信息传递.....166
1.3 计算机中数的表示.....10	4.3 递归子程序.....179
1.3.1 计算机中采用的数制.....10	4.4 标准函数子程序的设计.....192
1.3.2 数制间的转换.....15	练习四.....196
1.3.3 数的定点与浮点表示.....18	第五章 宏汇编语言199
1.3.4 原码、补码与反码.....19	5.1 宏功能的作用.....199
1.3.5 IBM370 系列机中数的表示.....29	5.2 宏定义及宏调用.....199
1.4 程序设计的一般概念.....31	5.3 带参数的宏指令.....201
练习一.....36	5.4* 条件汇编.....205
第二章 汇编语言与汇编程序38	5.5* 宏指令的嵌套性.....206
2.1 引言.....38	5.6* 系统宏指令简介.....209
2.2 汇编语言的基本成分.....47	练习五.....225
2.2.1 基本字符集.....47	第六章 程序设计的其它方法228
2.2.2 符号名、项及表达式.....47	6.1 位操作程序设计.....228
2.2.3 汇编语句的分类及一般格式.....49	6.2 字符处理与文字编辑技术.....234
2.2.4 汇编语言程序的书写格式.....50	6.3 程序的浮动与再入.....243
2.3 汇编语句.....51	6.4 程序的连接方法.....244
2.3.1 机器指令及其符号形式.....51	6.5* 协同程序.....248
2.3.2 汇编控制语句.....67	练习六.....253
2.4 汇编程序.....95	第七章 输入输出和中断程序设计254
2.4.1 汇编程序简介.....95	7.1 基本概念.....254
2.4.2 汇编语言程序的运行过程及汇编清单.....100	7.2 输入输出程序设计.....255
练习二.....105	7.3 缓冲技术.....265
第三章 分支与循环程序设计110	7.4 中断处理程序设计.....267
3.1 引言.....110	练习七.....271
3.2 分支程序设计.....122	第八章* 作业控制语言、编辑程序与连接
3.3 单重循环程序设计.....130	装配程序.....273
3.4 多重循环程序设计.....138	8.1 作业控制语言.....273
3.5 程序的排错方法.....150	8.2 作业步与作业控制程序.....276
练习三.....160	

8.3 编辑程序.....280
8.4 连接装配程序.....283
练习八.....289
附录A 汇编语言程序举例.....292
附录B EBCDIC 编码表.....308
附录C IBM370 系统指令表及其它
资料.....310

附录D IBM370 系统汇编语言资料...322
附录E IBM370 系统作业控制语句及
宏指令资料.....324
附录F IBM370 系统结构示意图.....335
附录G HSKPING 宏指令.....335

第一章 电子计算机简介

汇编语言程序设计与具体的计算机密切相关。本章将介绍计算机发展的概况，机器的基本结构，数在机器中的表示方法，以及程序设计的一般概念。重点叙述学习汇编语言程序设计需要了解了解的机器结构、特点及数在机器中的表示方法。

1.1 计算机发展概况

自从1946年第一台电子计算机ENIAC问世以来，随着当今世界科学技术的发展，计算机这一新技术取得了惊人的进展和得到了广泛的应用。它不仅已发展成一门独立的工业部门——计算机工业，形成了信息产业，而且已成为当今世界各国科学技术和工业发展水平的显著标志。

1.1.1 计算机的分类

三十多年来，已问世的计算机种类繁多而且功能各异，应用亦十分广泛。电子计算机一般分为三类：数字式、模拟式和混合式计算机。数字式电子计算机的解题精度高，灵活性大，并且便于存储信息，因此，目前大量应用的都是数字式的。通常所说的电子计算机，都是指数字式电子计算机。模拟式电子计算机虽然精度有限，信息存储困难，但能模拟问题中的物理量，便于进行仿真研究，解题速度快，所以在不少场合也要用它。混合式电子计算机是数字式和模拟式两种技术的结合，兼有二者的长处。为了有助于了解各类系统的演变、属性和相互关系，深化对任一特定系统的了解，启发新系统的探索途径，对于数字式电子计算机，人们也往往按下述方式来分类。

1. 以“代”分类

根据计算机采用的基本器件而分类为代。目前已经历了第一代至第四代，一些国家正在研究第五代计算机。这种分类法反映了计算机发展的时间顺序，这是最普遍采用的方法。概括起来，这四代计算机的特点大体是：第一代(1946年至1957年左右)以电子管为主要元件；计算机在结构上以中央处理机为中心进行组织；使用机器语言和汇编语言，人-机关系直接且紧密；主要用于科学技术中的数值计算。第二代(约在1958年至1964年之间)以晶体管为主要元件；计算机结构代之以存储器为中心，引入了通道概念；创立了一系列程序设计语言(如FORTRAN, ALGOL60, COBOL, LISP等)，出现了多道程序技术，相应地出现了管理程序这种小型操作系统来管理计算机的各种资源；其应用扩大到数据处理、事务管理方面。第三代(约在1965年至1971年之间)以集成电路为主要元件；机器结构仍以存储器为中心，通过存储器总线连接中央处理机、通道、输入输出设备等；引入了终端设备的概念，用户可以远距离使用计算机；软件功能有较大扩充，出现了会话式语言(如BASIC, APL等)，文件系统，以及具有实时、分时和远距离成批处理的大型操作系统；应用范围普及到各个领域。第四代(从七十年代初期至现在)以大规模集成电

路和半导体存储器为主要元件;把中央处理器集成在一块硅片上而形成微处理器,用微处理器、半导体存储器及其它外围接口器件组成的微计算机系统获得了大发展;在系统结构上还出现了分布式并行计算机系统;智能终端也不断涌现;操作系统功能更强,数据库系统、软件开发工具系统、各种专家系统相继出现;与通信网结合,发展了计算机网络;应用范围更为广泛,深入到社会生活的各个方面。

2. 以“型”分类

通常也将计算机系统按规模的大小来分类,大致分为巨型、大型、中型、小型和微型计算机。这里所谈的规模主要是指计算机的速度、容量及功能。就速度而言,巨型机在每秒亿次以上,中、大型机一般在每秒百万次到几千万次之间,微型机也在每秒几十万次左右。不过,随着大规模集成电路的发展,它们之间的这种界线也越来越不明显了。例如,目前已出现了具有中型计算机的速度和功能的微型计算机,以及与七十年代大型机相匹敌的超级小型计算机。

3. 以“流”分类

以计算机中的信息流为特征来分类的方法,乃是反映计算机系统组织特点的方法,也是深入剖析计算机系统属性的方法。人们将计算机系统中指令流与数据流的相互关系分为四类,这就是:单指令流-单数据流系统(SISD);单指令流-多数据流系统(SIMD);多指令流-单数据流系统(MISD);多指令流-多数据流系统(MIMD)。

此外,按使用范围来分,有通用的和专用的计算机;按数的表示形式来分,有定点的和浮点的计算机;按操作方式来分有串行和并行的计算机,等等。

1.1.2 计算机的特点

电子计算机是一种能自动、高速进行大量数值计算或信息处理的设备。它能通过对输入数据进行指定的数值运算和逻辑运算来求解各种问题,也能通过对信息的加工以解决各种信息处理问题。当它与一定的机电设备结合时,还能实现对生产过程的实时控制。概括起来,计算机具有如下主要特点。

1. 速度快。由于计算机的主要部件是由快速的电子元件(特别是高速的集成电路)组成,加上其它技术措施,使得人和机械的工作速度无法与之相比。四十年代诞生的电子管计算机每秒钟就可达到上千次运算,经过三十年来的发展,现在的计算机每秒钟可达几百万次,几千万次直至几亿次运算。

2. 容量大。计算机具有“记忆”能力,即信息存储功能,它的存储量是巨大的,目前已达到上兆字节的内存和几千兆字节的外存。

3. 精度高。计算机采用多位二进制数表示法,可以达到很高的精度,以满足实际需要。这是人工计算无法达到的。一般而言,计算机都有可供用户选择的几种精度。

4. 本领强。计算机具有逻辑判断和存储程序的能力,它在程序的控制下能自动地完成人所赋予的各种任务。但是,计算机的这种逻辑判断能力,其“运算”不是按计数方式而是按逻辑规则进行的;它的程序“可塑性”很大,能模拟人的一些推理判断,这正是计算机具有“智能”和“本领”

的根本原因,因此它比其它工具、仪器要强得多。当然,程序是人事先设计好的,而且,随着计算机的发展,程序的功能会越来越强。尽管它有一定的“智能”,但还不具有“思维”的能力,当然还不可能代替人们大脑的创造性思维活动。我们必须认识到,计算机只有配上灵巧齐全的外部设备,才能充分地发挥其作用。

此外,不怕“疲劳”,“不厌其烦”也是计算机的特点。做重复繁琐、枯燥无味的事情,计算机乃是你的好朋友。

1.1.3 计算机的应用

由于计算机具有上述特点,因而它起到了其它技术难以起到的作用。它广泛地应用于国民经济、文化教育、科学技术和军事等各个领域,渗透到社会生活的各个方面。现将它的主要应用概述如下:

1. 科学技术计算与工程设计方面

计算机能完成各种科学技术和工程问题的大量计算(人们称之为数值计算),这是计算机应用最早的领域。计算机也能对产品进行性能分析,模拟各种设计方案,协助人们完成各种研究和设计工作,以获得比过去用实验或估计方法更为精确的结果,从而大大减少研究、试制周期和经费开支。计算机辅助设计、辅助教学等等已广泛用于设计和教学中。

2. 信息处理方面

国民经济、财政金融的计划管理,企业、事业单位的行政事务处理,工农业生产的调度与管理,商业、贸易中商品信息的分析与管理,图书资料检索,破译密码与案情分析,图象处理,自然语言的翻译与理解等也广泛使用了计算机。人们把这些应用统称为信息处理或非数值应用。目前,这方面的应用在计算机应用中占有主导地位。

3. 过程自动控制方面

导弹发射、航天飞行、以及生产过程的实时控制等也都要借助于计算机来实现,而最先进的计算机系统(如巨型机等)往往都用在这些方面。

总之,目前,计算机正向更高的运算速度,更大的存储容量、更强的功能、更高的可靠性、更高的“智能”以及进一步减小体积和功耗、降低成本的方向发展。

1.2 计算机的基本结构与特性

1.2.1 计算机的基本结构

现代计算机几乎都是数学家 John Von Neumann(1903-1957)所归结的“存储程序式计算机”结构。尽管计算机种类繁多,功能各异,但它要计算、判断并自动地进行工作,必须具有:算术逻辑部件、存储器、控制器、输入输出设备等最基本的装置。只有对上述硬件结构及其特性有了深入的理解,我们才能正确进行汇编语言程序设计。下面将从这一角度逐步介绍计算机的基本结构及其特性。计算机的基本结构如图 1-1 所示。

从信息处理角度来看,首先,信息由输入设备进入计算机,再经中央处理机加工处理,最后,由输出设备送出处理结果。处理机由两大部分组成:一是主(内)存储器,二是中央处理机,或称

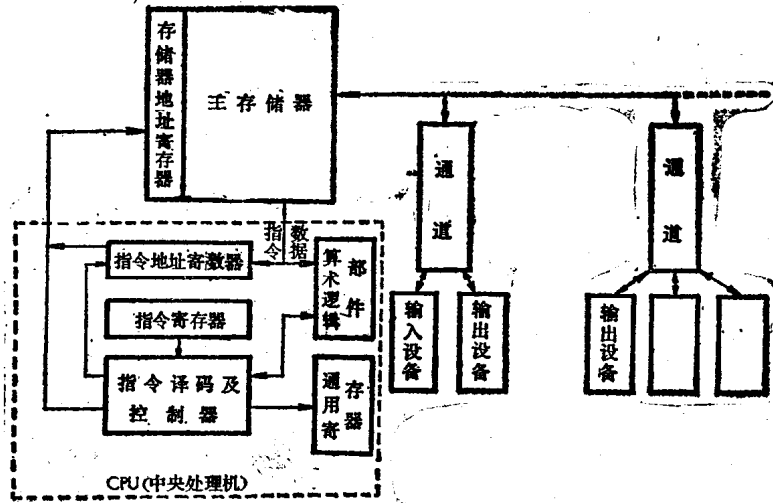


图 1-1 计算机基本结构示意图

CPU (它是 Central Processing Unite 的缩写). CPU 又由控制器和算术逻辑部件构成. 现在分别介绍如下:

1. 信息

信息(包括数据和程序)是计算机加工的对象和依据,信息用二进制数表示,称为代码. 信息具有广泛的含义,它是计算机能广泛应用的原因之一. 信息可记录在多种介质上,最早使用的介质有纸带和卡片,而现在则多使用磁带和磁盘(包括软盘). 计算机使用的数据通常可按三级(即三个层次)来组织,即文件、记录、记录域(或称记录项,也称信息组,又称字段).

在计算机内,虽然信息都是用二进制数表示的,但由于机器提供了多种类型的数据存放格式和处理指令,所以,计算机能处理多种类型的数据. 例如,有二进制定点数,二进制浮点数、十进制数、字符等. 这关系到计算机处理问题的能力和应用的范围.

2. 存储器

存储器的主要职能是保存信息——数据和程序的二进制代码. 它是计算机的一个重要组成部分,能保存大量的信息.

通常在存储器中,代码的组织方式是“按地址”进行存取的. 具体地说,存储器被分为成千上万个基本存储单位,每个基本存储单位可以存放一定位数的二进制码——数据或指令. 我们称每一个基本存储单位为存储单元,简称单元. 而存储器的单元总数称为计算机的存储容量,简称容量. 为了区分存储器中的不同单元,所以要给存储单元起名字. 人们把存储器的全部单元按照一定的次序编号(显然不同的存储单元应该具有不同的编号),这个编号就是该单元的名字,也称作它的地址. 我们可以把存储器比做“旅馆”,存储单元就是旅馆的房间,地址就是房间的号码. 一个单元的信息量规定多少个二进制位呢? 现在国际上通用的是 8 个二进制位,称为字节(byte). 在计算机中,还往往以字为单位进行操作. 一个字由若干字节组成,一个字所占的二进制位数称为字长. 例如,一个由两个字节组成的字,其字长是 16 位.

对 IBM370 系统而言, 存储器是按字节编址的, 即基本存储单元为字节. 存储器的容量是 2^{24} , 即 16777216 个字节. 地址用六位十六进制数书写. 在 IBM370 中, 对于相邻的 2、4、8 个字节的存储区有专门名称, 它们相应地称为半字、字(或全字)和双字. 为了将这种存储区能作为一个单一的信息来处理, 它们的地址必须分别规定在半字、字、双字边界上, 这就是说, 其地址分别是 2、4、8 的倍数, 也即地址的低四位二进制分别 $\times \times \times 0$ 、 $\times \times 00$ 、 $\times 000$ (\times 表示 0 或 1). 现图示如下:

0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010
字节	字节	字节	字节	字节	字节	字节	字节	字节	字节	...
半字		半字		半字		半字		半字		...
全字				全字				全字		...
双字								双字		...

图 1-2 存储地址界限示意图

当把一个信息存入存储器的某个单元(亦称写入)时, 或者从存储器的某个单元取出其代码(亦称读出)时, 首先须把该单元的地址送往存储器的地址寄存器, 然后按此地址找到相应单元并把其内容(即代码)取出或把新的代码存入该单元. 必须注意, 存储器有这样的特性, 当从存储器某单元读出代码后, 这个单元中的原代码保持不变, 以后还可再次读出; 反之, 当要向存储器的某个单元写入新的代码时, 那么原来的代码会被“换掉”而代之以新的代码. 其原理与通常的磁带记录信息相同.

存储器的容量和工作速度是计算机的两个重要的性能指标, 存储器的工作速度希望和运算逻辑部件、控制器的工作速度相匹配. 所谓存储器的工作速度是指实现一次代码存入或取出所需的时间, 称为存取周期. 另一方面, 存储器的容量决定了计算机所能解决问题的规模.

存储器的种类很多, 根据它与中央处理机的关系可分为内存储器与外存储器两大类; 按其功能又可分为主存储器、缓冲存储器及辅助存储器; 按其所用元器件和存储原理不同又有磁鼓存储器、磁带存储器、磁盘存储器、磁芯存储器、半导体存储器、光存储器; 按其工作方式还可分为随机存取(或称直接存取)存储器、顺序存取存储器等.

内存储器(简称内存或主存), 其特点是存取速度快. 早期用磁芯组成, 称为磁芯存储器. 现在已被半导体存储器(如 MOS, RAM)所取代. 内存总是存放着当前求解问题的程序和数据.

外存储器(也称辅助存储器, 次级存储器), 一般由比主存储器工作速度低的磁鼓、磁带和磁盘等装置组成, 它是内存的后援设备, 凡是内存中不常使用的数据和程序都可存放在外存中, 以便主存用来存放更急需的代码. 外存与主存之间能成批地交换代码. 外存的容量要比内存大得多, 成本也较低. 现在磁盘发展尤为迅速, 容量大大增加, 例如, 小型的温彻斯特磁盘的容量就可达 10 兆字节以上.

3. 输入输出装置

输入输出装置(也称外部设备)是计算机和外界(包括人)进行通讯的桥梁和通路. 计算机的输入输出装置, 一般由各种类型的输入输出设备以及输入输出设备的控制部件所组成. 当人

们在计算机上解决各种问题时，要把事先准备好的数据和程序通过输入设备送到计算机的存储器中，在计算机处理完问题之后，通常还要将结果转换成便于人们使用和阅读的形式，并通过输出设备印刷出来，或者存放在相应的存储介质上。

输入设备有光电输入机、卡片输入机、键盘打字机、终端、汉字输入机、光学字符读入器、声音输入机等。

输出设备有行式打印机(亦称宽行打印机)、纸带穿孔输出机、卡片输出机、字符显示终端(CRT)、汉字打印机、绘图仪等。

另外，磁带、磁盘，尤其是软盘，也可用作输入输出设备。由于输入输出设备的工作速度比主存储器和中央处理机的工作速度慢得多，而通常一台计算机又配有多种输入输出设备，若中央处理机与输入输出设备之间只能串行工作，输入输出设备之间也只能串行工作，那么，计算机的工作效率就不能充分发挥。为了改善计算机的性能，以及充分发挥中央处理机、主存储器的效率，现代计算机(例如 IBM370 系统)还设置有通道控制器(或称通道)和中断装置，使得输入输出设备与中央处理机之间，输入输出设备之间能够并行地工作。

4. 中央处理机

人们通常把算术逻辑部件和控制器合起来，称为中央处理机。

算术逻辑部件是完成数据的算术和逻辑操作的装置。它能快速地进行加、减、乘、除和逻辑运算以及其它操作。

算术逻辑部件主要是由能够完成各种基本运算的“加法器”和能保存代码的“寄存器”(包括累加器等)组成。寄存器用于保存参与操作的数据和操作结果。IBM370 系列机设有 16 个通用寄存器及 4 个浮点寄存器。

控制器的主要职能是使整个计算机能自动地执行程序中的各条指令。它类似人的大脑中枢，指挥和协调计算机各部件的工作，即按程序的安排，一步步地命令存储器把参加运算的数据送到算术逻辑部件，命令算术逻辑部件对数据作相应的操作，并把结果送到存储器或者输出，从而实现程序所要解决的任务。总之，控制器是统一指挥和控制计算机诸部件的机构。

控制器是采用“存储程序控制”的工作方式。这就是说，控制器是根据存放在内存中的程序来进行控制的。现将这种工作方式作如下说明。

(1) 指令及其格式

在计算机上求解问题，必须事先编好程序，而程序是由计算机所能接受的“语言”构成的。计算机能接受的最基本的“语言”是一条条的“指令”。指令是指示计算机应执行何种操作的命令。命令应包括两部分的内容，一是指出机器进行什么操作，二是操作的对象放在什么地方，操作后的结果放在何处。操作对象称为操作数。操作数存放的地址称为源地址，操作的结果存放地址称为目的地址。指令的一般格式为

操作码	第一操作数地址	第二操作数地址	结果地址
-----	---------	---------	------

其中，操作码表示这条指令执行什么操作；第一、二操作数地址用以指示参加该操作的两个数

据的相应存储单元，结果地址用以指示存放运算结果的单元。我们把具有这种格式的指令称为三地址指令。请注意，在指令格式中，一般用的是操作数地址，而不是操作数本身。为了减少指令的长度，往往把指令中的结果地址部分去掉，让结果存放在第一（或第二）操作数地址指示的单元中，而成为二地址指令。如果再去掉一个地址，则成为一地址指令。但由于大多数运算都需要两个操作数，于是对单地址指令必须提供一个隐含的源操作数，通常这个源操作数放在通用寄存器（或累加寄存器）中，它既作为源操作数的存放地址（即源地址），又作为存放结果的地址（即目的地址）。一般，小型与微型计算机多采用单地址指令格式，而大中型计算机则采用多地址指令格式。IBM370 系列机采用的就兼有二地址、三地址的指令格式。

对大多数机器而言，指令的长度是固定的，而有些机器，其指令的长度可以有几种。IBM370 系统，指令长度有三种，即二、四、六个字节。

指令中的操作码、地址码都用二进制代码来表示，把它们的二进制代码排列在一起，就组成一条指令的二进制代码。

一台计算机上不同指令的数目和允许数据类型的多少，在一定的程度上决定了该计算机处理问题的能力。一台机器上所有指令的总体，称为该台机器的指令系统，或称为机器语言。

(2) 控制器的基本结构

控制器一般由指令寄存器、指令地址计数器、操作码译码器、地址形成部件、节拍发生器、微操作控制部件、时钟、中断机构以及反映机器状态的程序状态字等组成。它们的内部结构和工作原理，在计算机组织结构课程中有专门的论述。这里仅从程序设计的角度，粗略地看一下有关部件的功能和作用。

(3) 控制器对指令执行的控制过程

在“存储程序控制”方式下，控制器根据内存中的程序，控制着指令一条条地执行，其大致过程如图 1-3 所示。

1° 在程序开始运行前，首先将程序执行的第一条指令地址送往指令地址计数器中（可人工置入或用其它方法实现），指令地址计数器专门用于存放当前被执行指令在内存的地址。

2° 控制器把指令地址计数器中的内容（即地址）送往内存的地址寄存器中，并发出“读命令”，这时便从内存读出该指令并送到“指令寄存器”中。指令寄存器用于保存当前正要执行的指令代码。这个阶段（时期）称为取指令周期。

3° 指令寄存器的指令被分析（即译码），根据操作码所规定的操作向有关部件发出操作命令。

4° 当指令需要由内存向算术逻辑部件传送操作数时，首先，根据指令寄存器的地址码部分的信息，确定数据所在的单元地址，把该地址送往内存的地址寄存器，同时控制器向内存发出读命令。然后，由内存读出相应数据送到算术逻辑部件，同时控制器向算术逻辑部件发出命令，对读出的数据执行操作码所规定的操作。

5° 当需要把操作结果存到内存时，则根据指令寄存器地址码部分的信息，确定存放结果的单元地址。把地址送往内存的地址寄存器，同时控制器向内存发出写命令，从而把操作结果送到

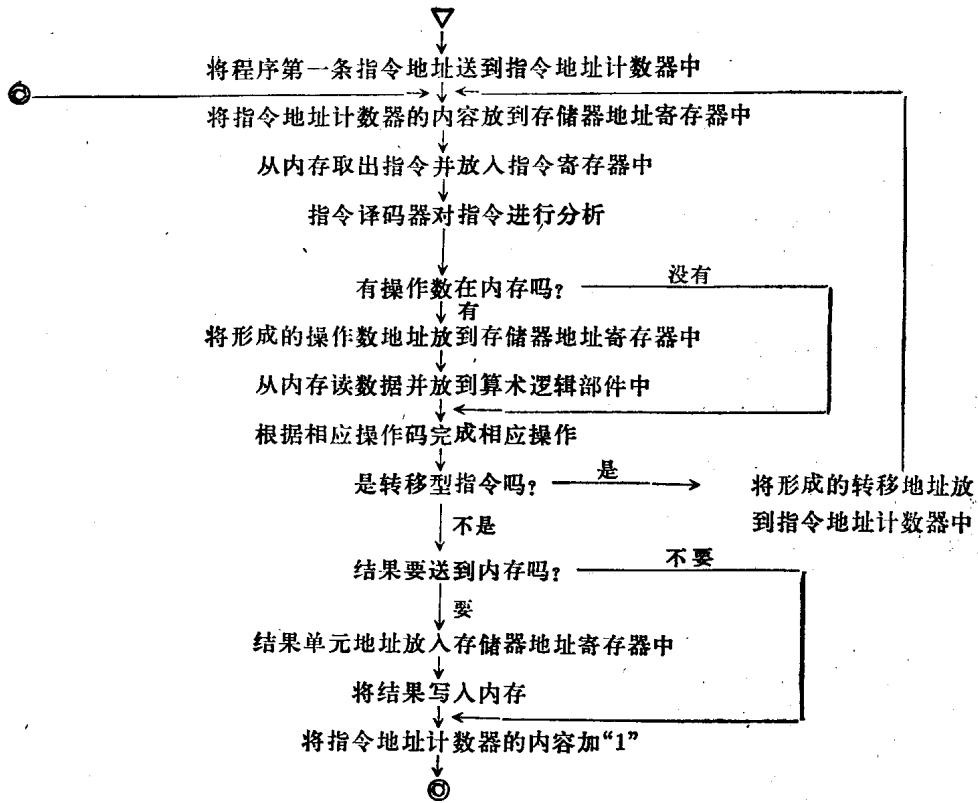


图 1-3 指令执行过程流程图示意图

内存中保存起来。以上三步，称为指令执行周期。这样，一条指令便执行完了。

一条指令执行完后，控制器接着就要控制下一条指令的执行。下一条指令的地址仍然在指令地址计数器中，因此，控制器又重复 2°~5° 步的工作，控制下一条指令的执行过程。如此重复，直到程序执行完为止。必须注意，在当前指令执行过程中，指令地址计数器的内容要自动地改变到下一条指令的地址。这是怎样实现的呢？一般的情况下，程序的指令是按顺序一条接一条执行的，每当执行一条指令时，指令地址计数器就自动加“1”，指到接着的下一条指令地址（注意，这里的“1”是指一条指令的长度）。但是，有时候指令并不一定按存放的顺序执行，此时只要把将要被执行的指令地址直接送入指令地址计数器，控制器就按照刚送入的地址从内存取出指令并执行之。这种指令执行顺序的改变被称为“转移”。在指令系统中，专门设置了一类“转移指令”，指令中给出了转移地址信息，以及指示控制器在何种条件下（可以没有条件）改变指令地址计数器的内容（把要转去执行的指令地址送入），从而实现转移。总之，指令地址计数器是自动控制程序执行的机构，其内容的改变，或者由机器自动计数（加“1”），或者由机器提供的转移指令，由程序设计者按设计意图进行改变。从而给计算机以判断和自动改变工作流程的能力。

1.2.2 计算机的组成部分

计算机由两大部分组成：硬件和软件。前面叙述的存储器、算术逻辑部件、控制器、输入输

出装置等是计算机硬件部分。计算机还有另一个十分重要的组成部分,称为系统软件(或系统程序,包括它的文档在内)。系统程序一般有三大部分,其一是操作系统,用于管理计算机本身,即管理整个系统资源。其二是程序设计工具集,提供给用户进行程序设计。例如各种程序设计语言(包括汇编语言、FORTRAN、PASCAL、COBOL 等高级语言)的编译程序或解释程序,编辑程序,数据库管理系统,程序包(或程序库)等。其三是维护、诊断程序,用于计算机本身的维护。从计算机与用户的关系看,计算机的组成可用层次图来表示(图 1-4)。

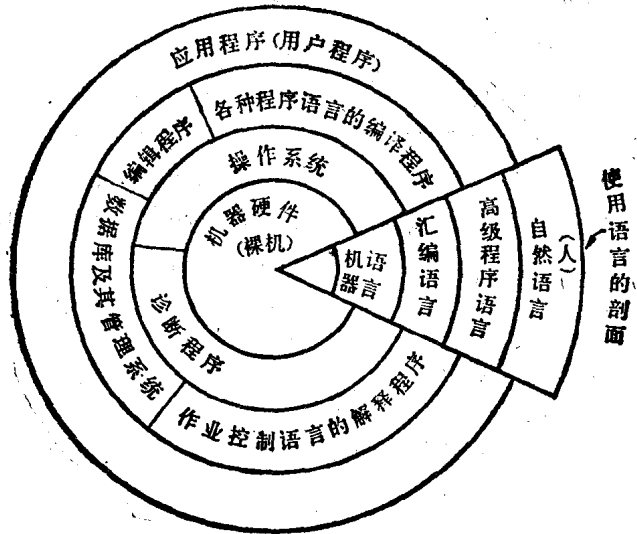


图 1-4 计算机系统组成层次示意图

机器的硬件处于系统的最内层,只是硬件的机器称为裸机。裸机的外层为操作系统等核心软件。操作系统的外层是机器提供给用户的工具集。工具集的外层便是用户的程序,或应用程序。从使用语言的角度看,由内到外可以是机器语言、汇编语言、高级程序语言、直到将来使用人类的自然语言。

1.2.3 汇编语言程序设计需要了解机器特性

汇编语言是与机器密切相关的一种程序设计语言。因此在进行汇编语言程序设计时,必须了解机器有关特性,这样才能编出正确的汇编语言程序。概括起来,我们所要了解的机器特性有:

1. 存储器的基本单元、容量。该机存储器的基本单元(即编址的基本单位)是什么?例如字节,以相邻字节为单位进行操作的单元有哪些种类?例如字、半字、双字等。其字长是多少?存储容量多大(即基本单元数量是多少)?地址表示的方法及地址变换机构(用于支持虚拟存储器)又是怎样的?

2. 控制器的功能及相互关系。必须了解的有:通用寄存器(包括累加器)的数量、功能,程序状态字(包括状态寄存器和指令地址计数器)与程序设计有关的性能等问题。

3. 数据类型及格式. 该机器能处理哪些类型的数据(例如,定点数、浮点数、十进制数、字符数据等)?每种数据在机器内的表示方法(即机内格式)是怎样的?

4. 指令格式、长度、功能及寻址方式. 对机器指令系统的深入了解是汇编语言程序设计的重要任务之一,它包括:指令格式是怎样的?指令的长度为何?指令中操作数的地址是怎样形成的(即寻址方式如何)?指令的种类有哪些?每一条指令的功能如何?程序设计应注意些什么?等等.

5. 控制器的其它特性. 汇编语言程序设计要了解算术逻辑部件和控制器的状态(这些信息集中反映在所谓程序状态字 PSW 中)、中断、时钟等. 有些机器的控制器允许有多对互斥状态. 例如,目态与管态,等待与运行,停机与工作等. 所谓目态就是运行用户程序(或问题程序)的状态,在此状态下禁止使用特权(或管态)指令;而管态是管理程序运行的状态,在这种情况下,可以运行包括特权指令在内的所有指令. 中断也是十分重要的特性,简单说来,中断就是当发生某种紧急或意外事件时,需要算术逻辑部件和控制器停止执行当前的程序而转去处理该事件,处理完后,再去执行被暂时停止执行的程序或转去执行其它程序. 因此,需要了解哪些中断与程序设计有关?中断时的现场保护在什么地方?如何屏蔽与开放中断?机器的时钟如何利用?等等.

6. 外部设备的特性. 外部设备是计算机与外部世界交换信息的手段. 进行汇编语言程序设计时,必须了解有哪些外部设备可供使用?每种外部设备的具体使用方法如何(包括信息交换的机构和交换方式)?如何使外部设备与算术逻辑部件和控制器协调工作(包括速度匹配)?有无通道设施?如何组织通道程序等.

1.3 计算机中数的表示

计算机要进行大量的数据运算,必然涉及到数据在特定计算机中的表示方法,以及它与通常数的表示法之间的关系等问题.

在这一节,我们将从常用的十进制数开始,进而引入各种不同的进位数制,以说明二进制数在计算机中广泛使用的原因,以及各进位计数制之间的相互联系和转换,并给出数的定点与浮点表示,叙述计算机中数的三种表示法,即原码、补码与反码. 最后介绍 IBM370 系列机中数的表示.

1.3.1 计算机中采用的数制

由于计算机自身的特性(利用开关元件的两种不同状态),通常采用的都是二进制数制. 人们最熟悉的是十进制数,对二进制数还比较陌生. 为此,我们不妨先分析一下十进制数表示的一些特点,然后仿此来认识二进制数表示中的一些规律,从而掌握二进制数:

1.3.1.1 十进制数

对于十进制记数系统,其表示法和性质如下:

(1) 有十个数码. 即用 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 这十个数字符号来表示十进制数的数值部分. 数字符号也称数码.

(2) 逢十进一。任意位置上的“十个单位”构成高一位置上的“一个单位”。称“十”为十进制数的基数(简称基),用 10 表示。

(3) 数码的位置原理。并排写出的两个数码,左边一个单位是右边一个单位的十倍。不仅数码本身,而且它处的位置也具有数值的含义。例如 825,最左边的一位,数字是 8,而且 8 所处的位置是“百位”,因此,该数最左边的一位就具有 $8 \times 100 = 800$ 的含义。

(4) 任何一个十进制数 $a_n a_{n-1} \cdots a_1 a_0 . a_{-1} a_{-2} \cdots a_{-m}$ 总可以表示为

$$\begin{aligned} & a_n \times (10)^n + a_{n-1} \times (10)^{n-1} + \cdots + a_1 \times (10)^1 + a_0 \times (10)^0 + a_{-1} \times (10)^{-1} + \cdots + a_{-m} \times (10)^{-m} \\ &= \sum_{k=-n}^{-m} a_k \times (10)^k \end{aligned} \quad (1.1)$$

其中 $0 \leq a_k \leq 9 (k = -n, -n+1, \cdots, n-1, n)$ 。

例如: $8192.34 = 8 \times 10^3 + 1 \times 10^2 + 9 \times 10^1 + 2 \times 10^0 + 3 \times 10^{-1} + 4 \times 10^{-2}$

这说明,任何一个十进制数 N 都可以分解成一个以 10 为基数的多项式。

除了十进制,在生产和生活中,我们还遇到过非十进制表示数量的方法。例如时间,六十秒为一分,六十分为一小时,它是六十进制;又如英制长度,十二英寸为一英尺,这是十二进制;三英尺为一码,便是三进制;而计算机中广泛采用的是二进制。

1.3.1.2 二进制数

由于计算机中采用的是二进制数,所以,程序设计者必须熟悉二进制数的表示、性质与特点。

1. 数的二进制表示与性质

数的二进制表示及性质与数的十进制表示和性质是类似的,其表示法和性质如下:

(1) 有两个数码,即 0、1 表示二进制数的数值部分。

(2) 逢二进一。任意位置上的“二个单位”构成高一位置上的“一个单位”,称“二”为二进制数的基,用二进制 10 表示,或用十进制数 2 表示。

(3) 数码的位置原理。并排写出的两个数码,左边的一个单位是右边一个单位的二倍,不仅数码本身具有数值的意义,而且它所处的位置也具有数值的意义。例如 111,最左边的一位数字是 1,而它所处的位置是“ 2^2 ”位,因此,该数最左边一位就具有 $1 \times 2^2 = 4$ 的含义。

(4) 任何一个二进制数 $b_n b_{n-1} \cdots b_1 b_0 . b_{-1} b_{-2} \cdots b_{-m}$ 总可以表示为

$$b_n \times 2^n + \cdots + b_1 \times 2^1 + b_{-1} \times 2^{-1} + \cdots + b_{-m} \times 2^{-m} = \sum_{k=-n}^{-m} b_k \times 2^k \quad (1.2)$$

其中 $b_k = 0$ 或 $1 (k = n, n-1, \cdots, 0, -1, \cdots, -m)$ 。

例如: $(10101.101)_2 = 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$
 $= 16 + 4 + 1 + 0.5 + 0.125$
 $= 21.625$

注意,上述等式中,左边的 $(10101.101)_2$ 表示为二进制数,而右边为通常的十进制数。

一般说来,若用正整数 J 表示进位制数的基,那么一个 J 进位制数 $c_n c_{n-1} \cdots c_0 . c_{-1} \cdots c_{-m}$ 总可表示为