

高等学校教材

计算机程序设计基础

王元珍 戴新林 编



国防工业出版社

计算机程序设计基础

王元珍 戴新林 编

国防工业出版社

内 容 简 介

本书以国内外广泛使用的 PDP-11 系列机的汇编语言为例,较系统地介绍了使用汇编语言进行程序设计的理论、方法和技巧。其主要内容包括: PDP-11 系列机的寻址方式和指令系统、分支程序、循环程序、子程序、输入/输出与自陷处理程序的基本结构和设计方法。此外,对 MACRO-11 汇编程序也作了专门的介绍。

计 算 机 程 序 设 计 基 础

王元珍 戴新林 编

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₁₆ 印张18 415千字

1986年6月第一版 1986年6月第一次印刷 印数: 0,001—6,000册

统一书号: 15034·3091 定价: 2.95元

前 言

本教材系由《计算机与自动控制》教材编审委员会计算机编审小组评选审定，并推荐出版。

本书根据计算机软件专业《汇编语言程序设计》教学大纲的要求，以国内外广泛使用的PDP-11系列机的汇编语言为例，较系统地介绍了使用汇编语言进行程序设计的理论、方法和技巧。其主要内容包括：PDP-11系列机的寻址方式和指令系统，分支程序、循环程序、子程序、输入/输出和自陷处理程序的基本结构与设计方法；此外，对MACRO-11汇编程序也作了专门的介绍。为了加强基础训练和便于教学，书中编入了较为丰富的例题与习题，以利不同程度的读者选用。

在编写本书的过程中，强调了理论与实践并重，力求做到叙述严谨、深入浅出、通俗易懂，以利于读者自学。为了增强实用性，书中主要使用了非数值计算程序和系统程序作为例题与习题（除中断部分外，所有例题均上机通过）。因此，本书也可作《系统程序设计》课的教材。

程序设计基础是一门实践性很强的课程。因此，希望读者在学习本书的时候，要多做习题、多编程序，并要安排一定的时间上机实习。只有这样，才能真正掌握程序设计的方法和技巧。为了便于读者上机操作，特在附录I中对在PDP-11的RSX-11M环境中如何开发、运行和调试汇编源程序也作了必要的介绍。

因此，读者在认真学完本书后，不仅可熟悉程序设计的一些基本概念，掌握用汇编语言进行程序设计的各种方法和技巧，而且对宏汇编程序、文本编辑程序、任务建立程序等一些系统程序及有关概念也都会有相当的了解。从而，为后继课程的学习提供了必要的基础知识。

本书是编者几年来在华中工学院计算机系讲授程序设计课程所用讲义的基础上，吸收并参考兄弟院校的有关教材和其他资料，经过几次修改编写而成的。全书共七章，由王元珍编写、戴新林认真地审阅。丁忠俊老师在初稿的编写中曾做过一些工作。在本书的编写过程中，邹海明教授给予了热情的支持与关怀，余祥宣老师提出了许多建设性的意见，何双成老师对第七章提出了一些宝贵的意见，袁蒲佳副教授、陈培军、唐元瑜、韩宗芬等老师也先后提出过许多宝贵的意见。

本书由西北工业大学张遵濂副教授担任主审，他仔细地审阅了全部书稿并提出了许多宝贵的意见和建议。参加审稿的还有清华大学、西安交通大学、西北电讯工程学院、华中工学院等院校的同志，他们对本书也提出了许多宝贵的意见。在此，对所有为本书的编写、审阅和出版给予支持和帮助的同志一并表示衷心地感谢。

由于编者水平有限，书中难免还存在一些错误和不妥之处，诚望广大读者批评指正。

编 者

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定，我部承担了全国高等学校工科电子类专业课教材的编审、出版的组织工作。从一九七七年底到一九八二年初，由于各有关院校，特别是参与编审工作的广大教师的努力和有关出版社的紧密配合，共编审出版了教材 159 种。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应社会主义现代化建设培养人才的需要，反映国内外电子科学技术水平，达到“打好基础，精选内容，逐步更新，利于教学”的要求，在总结第一轮教材编审出版工作经验的基础上，电子工业部于一九八二年先后成立了高等学校《无线电技术与信息系统》、《电磁场与微波技术》、《电子材料与固体器件》、《电子物理与器件》、《电子机械》、《计算机与自动控制》，中等专业学校《电子类专业》、《电子机械类专业》共八个教材编审委员会，作为教材工作方面的一个经常性的业务指导机构，并制定了一九八二至一九八五年教材编审出版规划，列入规划的教材、教学参考书、实验指导书等共 217 种选题。在努力提高教材质量，适当增加教材品种的思想指导下，这一批教材的编审工作由编审委员会直接组织进行。

这一批教材的书稿，主要是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中评选择优和从第一轮较好的教材中修编产生出来的。广大编审者、各编审委员会和有关出版社都为保证和提高教材质量作出了努力。

这一批教材，分别由电子工业出版社、国防工业出版社、上海科学技术出版社、西北电讯工程学院出版社、湖南科学技术出版社、江苏科学技术出版社、黑龙江科学技术出版社和天津科学技术出版社承担出版工作。

限于水平和经验，这一批教材的编审出版工作肯定还会有许多缺点和不足之处，希望使用教材的单位、广大教师和同学积极提出批评建议，共同为提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

目 录

第一章 预备知识	1
1.1 机器语言和汇编语言	1
1.2 PDP-11系列机简介	2
1.2.1 单总线	3
1.2.2 主存储器	3
1.2.3 中央处理机	4
1.2.4 外部设备	7
1.3 计算机常用数制及相互间的转换	7
1.3.1 十进制数、二进制数与八进制数	7
1.3.2 二进制数、八进制数与十进制数之间的转换	8
1.3.3 二-十进制数	9
1.4 计算机中正负数的表示法	10
1.4.1 原码表示法	10
1.4.2 反码表示法	11
1.4.3 补码表示法	11
1.4.4 移码表示法	14
1.5 PDP-11 系列机中数和符号的表示法	14
1.5.1 定点数及其机内表示	14
1.5.2 浮点数及其机内表示	16
1.5.3 字符的表示	17
1.6 MACRO-11源程序实例	18
1.6.1 源程序举例	18
1.6.2 使用符号的说明	18
习题一	19
第二章 寻址方式	21
2.1 概述	21
2.1.1 单操作数指令及其格式	22
2.1.2 双操作数指令及其格式	22
2.2 通用寄存器方式	23
2.2.1 寄存器方式	23
2.2.2 寄存器间接方式	23
2.2.3 自动增量方式	24
2.2.4 自动增量间接方式	24
2.2.5 自动减量方式	25
2.2.6 自动减量间接方式	26
2.2.7 变址方式	27
2.2.8 变址间接方式	28
2.3 程序计数器方式	29
2.3.1 立即寻址方式	29
2.3.2 绝对寻址方式	29
2.3.3 相对寻址方式	30
2.3.4 相对间接寻址方式	31

2.4 寻址方式综合举例	33
习题二	36
第三章 指令系统	38
3.1 概述	38
3.2 单操作数指令	39
3.2.1 一般指令	39
3.2.2 移位指令	42
3.2.3 多倍精度指令	47
3.2.4 处理机状态字操作指令	48
3.2.5 单操作数指令综合应用举例	49
3.3 双操作数指令	50
3.3.1 一般双操作数指令	50
3.3.2 逻辑指令	54
3.3.3 双操作数指令综合应用举例	56
3.4 条件码	57
3.4.1 条件码的设置	57
3.4.2 条件码操作指令	58
3.5 程序控制指令	59
3.5.1 转移指令	59
3.5.2 程序控制指令	67
3.6 杂类指令	68
习题三	69
第四章 程序设计的基本技术	74
4.1 概述	74
4.2 分支程序设计	75
4.3 循环程序设计	82
4.3.1 循环程序设计的概念	82
4.3.2 单重循环程序设计	84
4.3.3 多重循环程序设计	90
4.3.4 逻辑尺在循环程序设计中的应用	98
4.4 编写程序的几点注意事项	101
习题四	104
第五章 MACRO-11 汇编语言	106
5.1 MACRO-11 汇编语言的符号和数	106
5.1.1 字符集	106
5.1.2 符号	107
5.1.3 数和数据类型控制字符	107
5.1.4 表达式	108
5.1.5 语句	108
5.2 汇编控制命令	109
5.2.1 标题控制命令	109
5.2.2 全程符号控制命令	110
5.2.3 数据存储控制命令	110
5.2.4 当前位置计数器控制命令	111
5.2.5 基数控制命令	112
5.2.6 汇编结束控制命令	113
5.3 用户定义的宏指令	113

5.3.1 宏定义	113
5.3.2 宏调用	114
5.3.3 宏定义和宏调用中的参数	115
5.3.4 重复汇编控制命令	118
5.3.5 条件汇编控制命令	120
5.4 系统宏指令	125
5.4.1 输入/输出系统宏指令QIOW \$\$	125
5.4.2 退出用户程序宏指令EXIT \$\$	127
5.4.3 指派逻辑设备号宏指令ALUN \$\$	128
5.4.4 设置同步自陷向量表宏指令SUTK \$\$	128
5.4.5 系统宏指令的使用举例	128
5.5 MACRO-11汇编程序的功能	131
5.5.1 汇编程序的功能	131
5.5.2 源程序的汇编过程	131
5.5.3 汇编列表文件举例	134
5.6 任务建立程序的功能	135
5.6.1 局部符号和全程符号	135
5.6.2 任务建立程序的功能	137
5.6.3 存储分配文件举例	139
5.7 与位置无关程序	140
5.7.1 什么是与位置无关程序	140
5.7.2 与位置无关码的编制方式	141
习题五	144
第六章 子程序设计	147
6.1 子程序的概念	147
6.2 堆栈	148
6.3 例行子程序指令	150
6.3.1 转子指令	150
6.3.2 返回指令	151
6.3.3 标记指令	154
6.4 主程序与子程序间信息交换的方式	155
6.5 子程序的嵌套	162
6.5.1 嵌套子程序	162
6.5.2 递归子程序	165
6.6 子程序及其调用举例	167
6.6.1 数制转换子程序	168
6.6.2 拼数子程序	174
6.6.3 文本编辑命令处理子程序	178
习题六	195
第七章 输入/输出程序设计和自陷处理	199
7.1 直接控制方式	199
7.1.1 外部设备寄存器	200
7.1.2 直接控制方式的输入/输出程序举例	201
7.2 中断控制方式	207
7.2.1 中断的概念	207
7.2.2 中断过程及与中断有关的指令	208
7.2.3 多重中断	212
7.2.4 中断控制方式的 I/O 程序举例	214

7.3 自陷	226
7.3.1 自陷的概念	226
7.3.2 自陷指令	227
7.3.3 自陷程序举例	229
习题七	236
附录	239
附录 I 上机操作指南	240
I.1 概述	240
I.2 终端的使用	240
I.2.1 终端主键盘的使用	240
I.2.2 系统 MCR 命令	243
I.2.3 终端的启动	244
I.2.4 进入和退出系统的过程	244
I.3 建立与修改源文件	245
I.3.1 编辑程序 EDT 及其工作方式	245
I.3.2 使用 EDT 行编辑方式建立和修改源文件	245
I.3.3 使用 EDT 字符编辑方式建立和修改源文件	249
I.4 源文件的汇编	254
I.4.1 源文件的诊断性汇编	254
I.4.2 建立目标文件和列表文件	254
I.4.3 列表文件的输出	255
I.5 任务映象文件的建立	255
I.5.1 单一任务的建立命令	255
I.5.2 多个任务的建立命令	256
I.6 任务的运行	257
I.7 联机调试工具 (ODT) 的使用	258
I.7.1 运行和退出包含 ODT 任务的命令	258
I.7.2 重定位寄存器	258
I.7.3 检查及改变字 (字节) 或寄存器内容的方法	259
I.7.4 断点的设置方法	260
I.7.5 任务的运行	261
I.8 文件的管理	262
附录 II ASCII 字符表	265
附录 III PDP-11 系列机指令系统	266
附录 IV MACRO-11 汇编控制命令表	272
附录 V 汇编错误信息表	274
附录 VI 中断和自陷向量	275
附录 VII 技术名词英汉对照表	277

在PDP-11系列机上,把用MACRO-11汇编语言编写的源程序翻译成目标程序的工作是由 MACRO-11 汇编程序来完成的。

汇编语言具有直接和简捷的特点,用它编制的程序能精确地描述算法,可以充分发挥计算机硬件的功能。目前系统程序的研制虽然已有不少采用高级语言,但其产生的目标程序往往还是采用汇编语言的形式。另外,由于实际工作的需要,目前也还有不少系统或应用程序仍是用汇编语言来编写的,

这是因为用汇编语言编写的程序比用高级语言编写的程序所产生的目标程序要简短,执行速度快,效率高。特别是在解决一些实际问题时,有些用高级语言难以实现的操作,采用汇编语言却能比较容易地实现。此外,实用中已有大量的用汇编语言编写的系统程序(如各种编译程序、操作系统、数据库管理系统等)和应用程序(如各种实时控制程序)需要阅读、分析乃至修改。因此,汇编语言程序设计是一切计算机软件的基础。对于从事计算机研制和应用的广大科技工作者来说,掌握汇编语言及其程序设计技术是十分重要的。

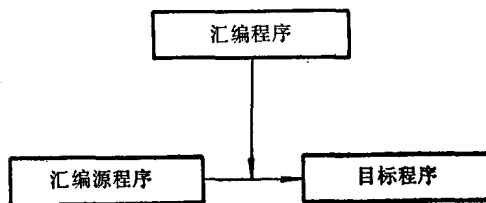


图1.1 汇编程序与汇编源程序、目标程序之间的关系

因此,汇编语言程序设计是一切计算机软件的基础。对于从事计算机研制和应用的广大科技工作者来说,掌握汇编语言及其程序设计技术是十分重要的。

1.2 PDP-11系列机简介

PDP-11的全名是Programmed Data Processor(可编程序的数据处理机)。PDP-11系列机是美国数字设备公司(DEC)的产品。自从它的第一个机种PDP-11/20于1970年问世以来,发展极为迅速,基本上每隔3~5年换代一次,而且功能越来越强,价格也大幅度下降,请看图1.2。

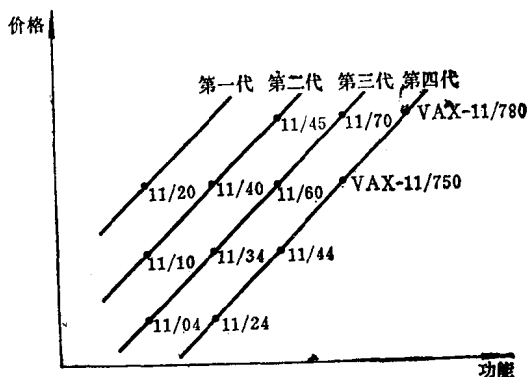


图1.2 PDP-11系列机的功能与价格的关系示意图

到目前为止,PDP-11系列机已由原来的小型机系列发展成为包括微型机、小型机、中型机和高效能机在内的具有各种不同功能的系列机。PDP-11系列机中的各中央处理机以其规模及速度增大的次序组成一个序列。整个系列可以划分为以下四大类:

- (1) 微型机 如: PDP-11/03, PDP-11/V03, LSI-11, LSI-11/2, PDP-11/23等。
- (2) 小型机 如: PDP-11/04, PDP-11/24, PDP-11/34等。
- (3) 中型机 如: PDP-11/45, PDP-11/60, PDP-11/44, PDP-11/70等。
- (4) 高效能机 如: VAX-11/780, VAX-11/750, VAX-11/730, VAX-11/733等。

等。

尽管 PDP-11 的各种机型在硬件结构与组成上都有其特点，但它们的硬件系统和软件系统却是向上兼容的。PDP-11 系列机设计思想新颖，功能较强，既具有科学计算、实时控制和数据处理的功能，又有各种扩展选件、外部设备和系统软件以供选用。因此，PDP-11 系列机在工业、农业、商业、交通运输、科学和文化教育以及军事等部门中得到了广泛的应用。

除高效能机外，PDP-11 系列机中各机型的字长均是 16 位，且采用二进制补码并行运算。从硬件结构来看，PDP-11 系列机主要由中央处理机 (CPU)、主存储器 (MM)、外部设备和互连部件所组成，单总线在系统各部件之间提供通讯。图 1.3 为其系统的简略方框图。

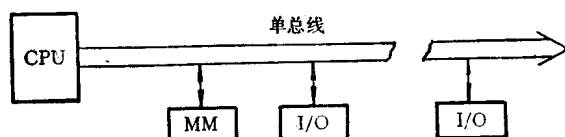


图1.3 PDP-11系统的简略方框图

下面对图 1.3 中的各个部分分别进行简单介绍。

1.2.1 单总线

单总线是联接外部设备、存储器和中央处理机的一束信号线。它是各设备之间进行通讯的共同通路。PDP-11 系列的中小型机一般都是使用单总线 (UNIBUS) 进行通讯的。单总线实际上是一组多导体的传输介质，是由 56 根信号线和 64 根相应地线组成的一根扁平电缆。系统的各个部件（包括中央处理机在内）都在总线的各点上并行连接，它们的通讯方式是相同的。即处理机使用同一组信号与存储器，外部设备进行通讯。外部设备与处理机、存储器或其他外部设备进行通讯时，也使用这一信号。每一设备（包括主存单元、处理机寄存器和外部设备寄存器）都被指定一个单总线上的地址。所以 CPU 对外设寄存器的操作如同对主存储器一样灵活，即凡是能处理主存数据的指令完全可以用来处理外部设备寄存器中的数据。这是一种相当强的功能，也可以认为是 PDP-11 的特殊功能。

在 PDP-11 系列的微型机中使用的是 LSI-11 总线，它只有 33 根信号线，其中 16 根数据/地址线，17 条异步控制和系统功能线。

1.2.2 主存储器

存储器是用来存放程序、数据、中间结果和最后结果的装置。它可分为主存储器（也称内存）和辅助存储器（也称外存储器）两种。辅助存储器属外部设备，设在主机外部，用来存放当前不参加运行的程序和数据，在需要时可与内存成批交换信息，其特点是存储容量大但存取的速度较低。主存储器设在主机的内部，用来存放当前运行所需要的程序和数据，以便向中央处理机高速地提供信息。相对于外存储器而言，主存储器容量较小，但存取速度快。

主存储器的基本存储单位是位，它能容纳一个二进制数字 0 或 1。主存储器是由许多存储位构成的。这些存储位可以组合成字节（也称单元），而字节又可组合成字。

一个字所能容纳的二进制数字位的个数叫计算机的字长。对于不同的计算机，由于用途和结构的不同，其字长也不相同。例如 VAX-11机的字长为32位，而 PDP-11/23、11/24、11/70机的字长均为16位（在本讲义中只针对16位字长的机型进行讨论）。

在 PDP-11系列机中，主存的一个字是由两个字节组成的。其中0~7位组成字的低位字节，8~15位组成字的高位字节，其形式如图 1.4 所示。

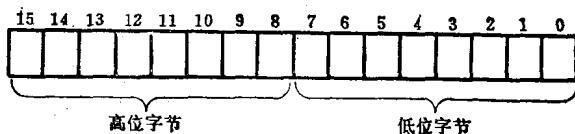


图1.4 主存储器中的一个字

为了区别主存中的不同字节，每个字节都被指定一个编号，即为此字节（或单元）的绝对地址。

PDP-11系列机是按 8 位字节编址的，即以字节作为最小寻址单位。图 1.5 所示的是一个由32K字或64K字节组成的 PDP-11主存储器示意图（1 K = 1024）。

在 PDP-11系列机中规定：高位字节地址总为奇数，低位字节地址总为偶数，而一个字的地址总是用它的低位字节地址来表示，所以字地址总是偶数。并且，存储器的最高4K字作为通用寄存器和外部设备寄存器的地址，最低的0~(376)_八号存储字用来保存设备中断和系统自陷向量；在系统结构较大时，保留地址可达到(777)_八，用户不得随便使用。

1.2.3 中央处理机（CPU）

PDP-11 的中央处理机由算术逻辑部件（即运算器）控制部件（即微程序控制器）和若干个16位通用寄存器组成。算逻部件负责对数字信息进行加工，实现算术逻辑运算及信息传送。控制部件是全机的指挥中心，负责对控制信息进行分析，通过分析发出各种控制命令（即微命令），以控制并调整各部分的工作。

CPU 的简略结构框图如图 1.6 所示。

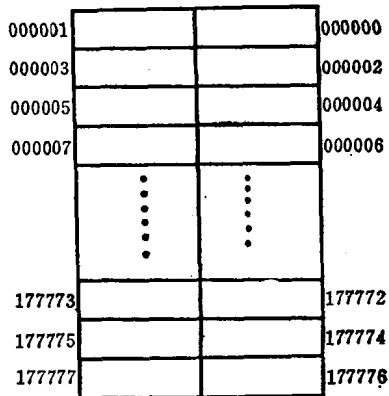


图1.5 容量为64K字节的主存储器

CPU 执行一条指令的大致过程为：首先 CPU 以程序计数器PC的内容作为地址，并将此地址送到总线地址寄存器，然后通过地址总线再送到内存地址寄存器，发出读命令，从内存中读出该指令，并经数据总线送回到 CPU 的指令寄存器中。这时程序计数器PC的内容加 2，作为取下一条指令的地址。存放在指令寄存器中的指令经指令译码器对操作码进行译码以后，得到该指令微程序的入口地址（在微程序控制器中，存放着实现机器指令系统的全部微程序，即每一条机器指令都对应着一段完整的微程序）。然后进入指

① (376)_八表示括号中的数376为八进制数。同样，()_二表示括号中的数为二进制数；()_十表示括号中的数为十进制数。

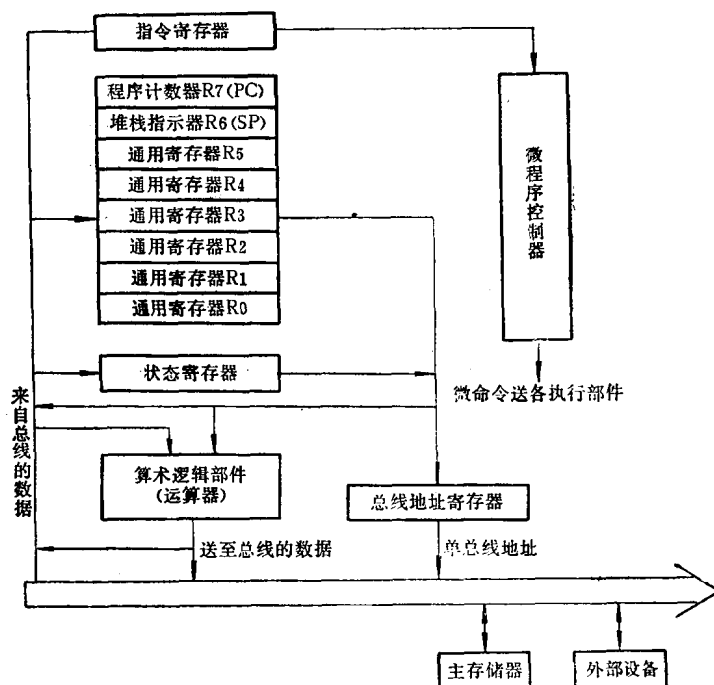


图1.6 CPU简略结构框图

令所规定的微程序执行，执行的结果便产生若干种微命令送往运算器、通用寄存器、主存储器、外部设备等执行部件。控制各部件执行这条指令所规定的操作。当需要从主存中取出操作数时，控制器则根据指令中地址码部分的信息寻找操作数的存放地址，并将该地址送到主存的地址寄存器中，同时发出“读命令”，从主存中取出操作数送往运算器，运算器则在微命令的控制下对数据进行操作码所规定的操作。最后将运算结果送入指令地址码所指出的目的地址中保存。这样一条指令就执行完毕。

控制器为了对执行部件和整个系统进行有效的控制和管理，需要对执行每一条指令时处理机所处的工作状态、运算结果的特征（条件码）等进行测试。因此专门设置了状态寄存器，或称状态字（PSW）来保存有关信息。当一条指令执行完后，则根据运算结果置条件码。然后再取下一条指令执行。

在CPU中，有三个主要部件即通用寄存器、程序计数器和处理机状态字是与我们今后的学习内容密切相关的，下面分别进行介绍。

（一）通用寄存器

PDP-11系列机中的微型机和小型机一般有8个通用寄存器，分别称为R0，R1，…，R7，它们的分工为：

R0～R5可作累加器、变址寄存器、自动扫描存储单元的指示器（自增或自减）及堆栈指示器。第三章介绍寻址方式时，将详细地介绍它们的用途。

R6通常作系统硬件堆栈指示器，也称SP（Stack Pointer）。

R7用作程序计数器，也称为PC（Program Counter）。

对于PDP-11的中、高档机，为了便于多道程序间的快速转换和对系统的保护，一般为处理机设置了两种或三种不同的工作状态，例如PDP-11/23，11/24，11/60等有

求中断, 为 $(100)_2$ 时则屏蔽外设不能请求中断。

1.2.4 外部设备

在计算机中, 除主机以外的设备称为外部设备。外部设备主要包括输入/输出设备, 辅助存储器、各种通道及接口。一般最常用的外设有磁盘机、磁带机、显示终端、行式打印机、时钟等等。

DEC 公司为 PDP-11 系列机设计和制造了许多种外部设备。有各种处理器, 输入/输出设备、总线、串行和并行接口以及外部存储器等供用户选用。在“PDP-11 外部设备手册”中对此有详细介绍。这里就不再多述了。

1.3 计算机常用数制及相互间的转换

1.3.1 十进制数、二进制数与八进制数

在日常生活和工程设计中, 我们都采用十进制计数法, 即“逢十进一”的计数方法。十进制计数法以十为基数, 且包含有 0~9 十个数码, 这是大家都很熟悉的。但在电子计算机的内部, 却广泛采用二进制计数法, 即“逢二进一”的计数方法。二进制计数法以二为基数, 并只包含 0 和 1 两个数码。虽然二进制计数法与十进制计数法不同, 但二者之间是有着一一对应关系的, 即

$$\begin{aligned}(1)_2 &= (1)_+ \\ (10)_2 &= (2)_+ \\ (11)_2 &= (3)_+ \\ (100)_2 &= (4)_+ \\ (101)_2 &= (5)_+ \\ (110)_2 &= (6)_+ \\ (111)_2 &= (7)_+ \\ (1000)_2 &= (8)_+ \\ &\vdots\end{aligned}$$

在这里, $()_2 = ()_+$ 表示左边的二进制数等于右边的十进制数 (或者说是对应的), 即只不过是同一数的两种表示法而已。

计算机内为什么要采用二进制数呢? 其原因主要有两点, 第一是二进制数状态简单, 容易表示。因为二进制数的每一位只有 0 和 1 两种状态, 而在物理上表示两种状态是很方便的, 例如用电压的高和低, 信号的有和无, 纸带上的有孔和无孔等都可以表示 0 或 1 两种状态。第二是二进制的四则运算比较简单。我们知道, 在进行数的运算时, 如果是十进制数, 则必须分别记住十个整数 0~9 的 55 种“加”与 55 种“乘”的规律; 而二进制的两个整数 0 和 1 的“加”或“乘”的运算规律是极为简单的, 各只有 3 种, 即

$$\begin{array}{ll}\text{加法: } 0 + 0 = 0 & \text{乘法: } 0 * 0 = 0 \\ 0 + 1 = 1 + 0 = 1 & 1 * 0 = 0 * 1 = 0 \\ 1 + 1 = 10 & 1 * 1 = 1\end{array}$$

显然二进制的运算规律比十进制要简单得多。因此, 实现其运算的线路也要简单可靠得多, 对有关设备的要求也要低得多, 所以在计算机中广泛采用二进制数。

但是, 二进制有个缺点, 就是写起来很长, 也难于识别。为了克服这个缺点, 我们

可把一个二进制整数，自个位起向左每三位分为一组，每一组的值用一个数码来表示。显然三位二进制数能表示0~7八个数字，即

$$\begin{array}{cccccccc} \underbrace{0\ 0\ 0}_0 & \underbrace{0\ 0\ 1}_1 & \underbrace{0\ 1\ 0}_2 & \underbrace{0\ 1\ 1}_3 & \underbrace{1\ 0\ 0}_4 & \underbrace{1\ 0\ 1}_5 & \underbrace{1\ 1\ 0}_6 & \underbrace{1\ 1\ 1}_7 \end{array}$$

这里的0~7就是八进制数，它以八为基数，其计数规则是“逢八进一”。

根据“逢八进一”的原则，可以把任意一个二进制整数转换为八进制数。例如：

$$\underbrace{(10)}_2 \quad \underbrace{011}_3 \quad \underbrace{101}_5 = (235)_8$$

即从个位起，向左分组，每组三位。前面不足三位的可补0。

我们也可以进行相反的转变。

例如：\$(377)_8 = (11\ 111\ 111)_2\$

$$(407)_8 + (1)_8 = (410)_8 = (100\ 001\ 000)_2$$

对于二进制小数，如要化为八进制数，则只要从小数点开始，自左向右，每三位为一组，后面不足三位的补0即可。

例如：\$(0.1100101)_2 = (0.624)_8\$

$$(11010.0101)_2 = (32.24)_8$$

同样我们也可以进行相反的转变。

例如：\$(0.732)_8 = (0.111\ 011\ 01)_2\$

$$(3.175)_8 = (11.001\ 111\ 101)_2$$

根据上面的原则，我们可以看到，八进制数实际上是二进制数的一种缩写形式。在后面的学习中，我们将主要用八进制数来代替对二进制数的讨论。

1.3.2 二进制数、八进制数与十进制数之间的转换

由于人们习惯采用十进制数，而计算机内使用的是二进制数。因此，当十进制数输入到计算机之后，需要将其转换成二进制形式才能参加运算。而计算机运算的结果在机内也是二进制形式，为了符合人们的习惯，当结果输出时又需要将其转换为十进制数。由于二进制数与八进制数之间的转换很简单，所以我们将八进制数作为二进制与十进制数之间进行转换的桥梁，而重点讨论八进制与十进制数之间的转换。

(一) 八进制整数转换为十进制数

设有八进制整数 \$(X)_8 = (x_n x_{n-1} x_{n-2} \cdots x_2 x_1 x_0)_8\$，根据“逢八进一”的计数原则，它可以展开成以八为基数的多项式：

$$(X)_8 = (x_n * 8^n + x_{n-1} * 8^{n-1} + x_{n-2} * 8^{n-2} + \cdots + x_2 * 8^2 + x_1 * 8^1 + x_0)_8$$

由于八进制中的数码均为十进制中的数码，所以只要按十进制的运算法则计算此多项式的值就可得到 \$(X)_8\$ 的十进制表示形式。

为了计算的方便，我们可将上式改写为递推的形式：

$$(X)_8 = (((\cdots ((x_n * 8 + x_{n-1}) * 8 + x_{n-2}) * 8 + \cdots + x_1) * 8 + x_0)_8$$

例 1 将八进制数 256 转换为十进制数。

解 \$(256)_8 = ((2 * 8 + 5) * 8 + 6)_8\$
 $= (174)_8$

例 2 将二进制数 100000011101 转换为十进制数。