大 學 用 書

PDP-11組合語言

劉 振 漢 著

三民書局印行

PDP-11 組合語言

劉 振 漢 著

學歷：美國加州柏克萊大學計算機博士
現職：國立交通大學計算機研究所教授

三 民 書 局 印 行

行政院新聞局登記證局版臺業字第〇二〇〇號

中華民國七十年五月初版
中華民國七十二年三月修訂初版

PDP-11組合語言

基本定價叁元壹角壹分

著作者　劉振漢
發行人　劉振強
出版者　三民書局股份有限公司
印刷所　三民書局股份有限公司
臺北市重慶南路一段六十一號
郵政劃撥九九九八號

獻給雙親

劉興榮先生

林緞妹女士

序

自70年代初期 PDP-11 問世，而有迷你計算機(mini-computer) 名詞出現。這十年間， PDP-11 機器成為迷你計算機的典範，討論迷你計算機的書籍無不以 PDP-11 為對象。

今日的 PDP-11 機型很多，大者可以和大型計算機(main frame)分庭抗禮，小者則與微計算機(micro-computer) 為伍。而這一系列的機型固然提供使用者可以按其需要做其選擇，更重要的意義是：這些計算機上的指令是完全一致的，因此就很容易在大的機型上設計發展出程式，放入微電腦中使用，使得發展微電腦的應用變得很簡單。

要深入瞭解一種計算機，最首要的一件事，就是學習其組合語言。PDP-11 在臺灣約有 150 部，數目多於其他的迷你計算機。它的結構清楚易懂，因此在國外許許多多的學校在計算機結構 (computer organization) 的課裏都以 PDP-11 為材料。而 PDP-11 上的各種操作系統 (operating system) 也是研習的對象。國內工業技術研究院的電子研究所對 RSX-11M 和 UNIX 兩種操作系統都曾做過深入研究，毫無疑問的，PDP-11 是國內瞭解最深入的一部計算機。雖然如此，我們對計算機的瞭解還不够普遍，有待加強的地方很多很多。本書之作，希望能對這方面貢獻一點力量。

本書材料有部份是來自 DEC 公司的內部教材、Arthur Gill 的書 (Machine and Assembly Language Programming of the PDP-11) 和在美國時得到的其他教師的教材，這些約佔三分之一，其餘的三分之二是著者六年半使用和教學 PDP-11 的累積經驗和資料。

本書的目標是要成為一本很完整的教科書。若時間不足無法教完全本時，著者的建議是將第六章的後部，第七、八兩章的全部省略，教師可以自行斟酌。而第九章則應詳加介紹，不得已時可將第 9-9 節省略。由第五章起，本書是以QIO方法做輸出入，如果所用的機器上無此，可以用高階語言做輸出入，或者先介紹第九章，直接寫指令做輸出入。

著者授組合語言課時，學生的學習熱忱，引發了作此書之心志。晨昏之際，構思、寫稿、改稿、校稿之餘，建功國校師生的弦歌笑語成了工作時的良伴，不可不於此誌謝。

劉 振 漢

1981年 3 月於新竹

PDP-11 組合語言 目次

第一章 數字系統

第二章 機器結構與資料儲存

第三章 指令格式和實效位址

第四章 程式的寫法

第五章 副程式和資料輸出入

第六章 程式範例

第七章 算術運算

第八章 組合與連結

第九章 系統程式

第十章　巨指令及其它

第一章　數字系統

要能瞭解計算機，首先必須對計算機的常用表示方法有所瞭解。其中很基本的一項就是計算機所用的「數字系統」。在計算機中經常會用到 2 進位、8 進位、16進位等數字系統，本章裏介紹這些數字系統。

1-1　n 進位數字系統 (n-ary number system)

雖然我們都已根深蒂固地習慣了十進位數字系統，但我們也知道一些其它的數字系統，只是沒有特別去留意它們罷了。日常中會遇到的非十進位系統有(1) 英制的長度在呎與吋間爲 12 進位， 1 呎＝12 吋；(2) 英制的重量單位爲 16 進位， 1 磅＝16 盎斯；(3) 時間爲 60 進位， 1 小時＝60 分， 1 分鐘＝60 秒。

在做算術運算時， 必須留意進位單位， 才能得正確的結果； 例如 5 時 42 分 30 秒＋ 2 時 29 分 53 秒，其和應爲 8 時 12 分 23 秒，我們做的是 60 進位系統的算術運算。

一個 n 進位數字系統中的數字，其所代表的數值可以用下式表示:

$$(d_m d_{m-1} \cdots\cdots d_1 d_0)_n = d_m \times n^m + d_{m-1} \times n^{m-1} + \cdots\cdots + d_0 \times n^0$$

$$= \sum_{i=0}^{m} d_i \times n^i$$

在此 $d_i (0 \leq i \leq m)$ 必須是介於 0 和 $n-1$ 的數字（含 0 和 $n-1$）。$(X)_n$ 用來表示一個 n 進位的數，有時括弧省略不用。

例如一個十進位的數字 53492，其代表的數值爲

$$(53492)_{10} = 5 \times 10^4 + 3 \times 10^3 + 4 \times 10^2 + 9 \times 10^1 + 2 \times 10^0$$

而一個 6 進位的數字 245305，其代表的數值爲

$$(245305)_6 = 2 \times 6^5 + 4 \times 6^4 + 5 \times 6^3 + 3 \times 6^2 + 0 \times 6^1 + 5 \times 6^0$$

1-2 八進位數字 (octal numbers)

八進位數字是計算機中常用的數字表示方法，要將一個八進位數字轉換成十進位數字，可以用其定義，例如 3274_8 轉換成十進位數字可以如下式

$$\begin{aligned} 3274_8 &= 3 \times 8^3 + 2 \times 8^2 + 7 \times 8^1 + 4 \times 8^0 \\ &= 3 \times 512 + 2 \times 64 + 7 \times 8 + 4 \\ &= 1536 + 128 + 56 + 4 \\ &= 1724_{10} \end{aligned}$$

反過來如果要把一個十進位數字轉換成八進位數字，則可以將此十進位數字用 8 連除，所得的餘數即爲八進位的各個位數。例如 6429_{10} 的八進位表示法可以用下式求：

$$
\begin{array}{r|l|l}
8 & 6429 & 5 \\
\hline
 & 803 & 3 \\
\hline
 & 100 & 4 \\
\hline
 & 12 & 4 \\
\hline
 & 1 & 1 \\
\hline
 & 0 &
\end{array}
$$

在此式中左邊為除數，中間為被除數和商，右邊為餘數。連除至商變0為止，而餘數相連所得 14435_8 即為 6429_{10} 的八進位表示法。

這種用除法來求一個數的表示方法的原理很簡單，假設要表示的數為X，而求八進位的表示法為 $d_m d_{m-1} \cdots\cdots d_1 d_0$，則

$$
\begin{aligned}
X &= (d_m d_{m-1} \cdots\cdots d_1 d_0)_8 \\
&= d_m \times 8^m + d_{m-1} \times 8^{m-1} + \cdots\cdots + d_1 \times 8 + d_0
\end{aligned}
$$

因此X除以 8 所得商必為 $d_m \times 8^{m-1} + d_{m-1} \times 8^{m-2} + \cdots\cdots + d_1$，而餘數必為 d_0，將此商再除以8，必得餘數為 d_1。因此證明「將一個數用8連續除，得餘數為 $d_0, d_1, \cdots\cdots, d_m$ 則 $(d_m d_{m-1} \cdots\cdots d_1 d_0)_8$ 即為此數的八進位表示法」。這方法當然不限於八進位，也可適用於n進位的數。

1-3 二進位的數字 (binary numbers)

在計算機中也常用到二進位的數字，一個二進位的數字一定是由0和1兩符號所構成，二進位數字和十進位數字之間之轉換，仍舊是可以用乘法和除法來做。

〔例 1〕 $101100101_2 = 1 \times 2^8 + 0 \times 2^7 + 1 \times 2^6 + 1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0$

$$=256+64+32+4+1$$
$$=357_{10}$$

〔例 2〕 求 247_{10} 的二進位表示法

$$
\begin{array}{r|c|l}
2 & 247 & 1 \\
 & 123 & 1 \\
 & 61 & 1 \\
 & 30 & 0 \\
 & 15 & 1 \\
 & 7 & 1 \\
 & 3 & 1 \\
 & 1 & 1 \\
 & 0 &
\end{array}
$$

所以　$247_{10}=11110111_2$

二進位和八進位的轉換較容易，因爲

$$
\begin{aligned}
x &= (d_m d_{m-1} \cdots\cdots d_2 d_1 d_0)_8 \\
&= d_m \times 8^m + d_{m-1} \times 8^{m-1} + \cdots\cdots + d_3 \times 8^2 + d_2 \times 8^1 + d_1 \times 8^0 \\
&= (d_{m2} \times 2^2 + d_{m1} \times 2^1 + d_{m0} \times 2^0) \times 2^{3m} + \cdots\cdots \\
&\qquad + (d_{12} \times 2^2 + d_{11} \times 2^1 + d_{10} \times 2^0) \times 2^0 \\
&= d_{m2} \times 2^{3m+2} + d_{m1} \times 2^{3m+1} + d_{m0} \times 2^{3m} + \cdots\cdots \\
&\qquad + d_{12} \times 2^2 + d_{11} \times 2^1 + d_{10} \times 2^0
\end{aligned}
$$

因此，我們可以將八進位數的每 1 位數化成二進位的 3 位數，或反方向轉換，很容易地做轉換。

下面是八進位和二進位轉換表：

八進位	二進位
0	0 0 0
1	0 0 1
2	0 1 0
3	0 1 1
4	1 0 0
5	1 0 1
6	1 1 0
7	1 1 1

〔例 3〕 要將 32407_8 轉換成二進位數，可以將 3 化爲 011，2 化爲 010，4 化爲 100，0 化爲 000，7 化爲 111，而得

$32407_8 = 011010100000111_2$（最左邊的 0 可省略）

相反地，要將 10110111001_2 化爲八進位數，可以將它由右邊起每三位數合成一八進位的數字，即 001 化成 1，111 化成 7，110 化成 6，10 化成 2，而得

$10110111001_2 = 2671_8$

1-4 十六進位的數字 (hexadecimal numbers)

在 PDP-11 機器中很少用到十六進位的數字，但在其它機器中用得很多，仍應熟習一下。

在 n- 進位的數字中，每一位數的值可以是 0 到 n-1 之間的值，因此十六進位數字中每一位數應可在 0 和 15 之間。爲避免用兩個符號表示一個位數，在十六進位中的習慣是以 A, B, C, D, E, F, 分別表示 10, 11, 12, 13, 14, 15。因此

$$2AC64_{16}=2\times16^4+10\times16^3+12\times16^2+6\times16^1+4\times16^0$$

〔例 4〕

(a) 將 43629_{10} 轉換成十六進位的數

```
16 | 4 3 6 2 9 | 13 (D)
     | 2 7 2 6 |  6
       | 1 7 0 | 10 (A)
         | 1 0 | 10 (A)
             0
```

因此 $43629_{10}=AA6D_{16}$

(b) 將 2543_7 轉換成十六進位的數

$$\begin{aligned}2543_7&=2\times7^3+5\times7^2+4\times7^1+3\times7^0\\&=686+245+28+3\\&=962_{10}\end{aligned}$$

```
16 | 9 6 2 | 2
     | 6 0 | 12 (C)
         3
```

∴ $2543_7=3C2_{16}$

(c) 將 $2B47_{16}$ 化成八進位（參看下面 16 進位和二進位對照表）

$$\begin{aligned}2B47_{16}&=0010101101000111_2\\&=25507_8\end{aligned}$$

下面是十六進位和二進位轉換表: