

第12章 二進制算術

有正負號、無正負號
加、減、乘、除
資料轉換

本章介紹的指令

ADC, ADD
CBW, CDQ, CWD, CWDE
DIV, IDIV
MUL, IMUL
NEG
SUB, SBB

數值範圍

- 無正負號 (Unsigned)
 - 8 位元: 0 – 255
 - 16 位元: 0 – 65,535
 - 32 位元: 0 – 4,294,967,295
- 有正負號 (Signed) (二補數表示法)
 - 8 位元: -128 – 127
 - 16 位元: -32,768 – 32,767
 - 32 位元: -2,147,483,648 – 2,147,483,647

超限 (Overflow, 溢位)

- 無正負號數加減運算產生進位(借位)
(CF=1)
- 有正負號數加減運算結果位置不夠放, 設
OF=1

例如, 兩8位元正數(數值部分只有7位)相加
 $127+1=128=10000000_2$ (8位數)

判斷方法: 若進入 sign bit 的進位與由 sign bit 送出的進位不相同, 則為超限

兩正數相加

進位 0 ← 0 ← 0 ← 0 ← 0 ← 0 ← 0 ← 0

$$\begin{array}{r}
 01111110 \\
 + 00000001 \\
 \hline
 01111111
 \end{array}$$

126+1=127
無超限

進位 0 ← 1 ← 1 ← 1 ← 1 ← 1 ← 1 ← 1

$$\begin{array}{r}
 01111111 \\
 + 00000001 \\
 \hline
 10000000
 \end{array}$$

127+1=128
超限

一正一負相加

進位 1 ← 1 ← 1 ← 1 ← 1 ← 0 ← 0

$$\begin{array}{r}
 11111110 \\
 + 01111101 \\
 \hline
 01111111
 \end{array}$$

(-2)+125=123
無超限

進位 0 ← 0 ← 0 ← 0 ← 0 ← 0 ← 0

$$\begin{array}{r}
 00000100 \\
 + 10000011 \\
 \hline
 10000111
 \end{array}$$

4+(-125)=-121
無超限

兩負數相加

進位

$$\begin{array}{r} 11111110 \\ + 10000011 \\ \hline 10000001 \end{array}$$

$(-2)+(-125)=-127$
無超限

進位

$$\begin{array}{r} 11111100 \\ + 10000011 \\ \hline 10000011 \end{array}$$

$(-4)+(-125)=-129$
超限

加/減法指令

[label:] ADD/ADC/SUB/SBB register, register
[label:] ADD/ADC/SUB/SBB memory, register
[label:] ADD/ADC/SUB/SBB register, memory
[label:] ADD/ADC/SUB/SBB register, immediate
[label:] ADD/ADC/SUB/SBB memory, immediate

例子

```
byte1db 24h ;data items
word1dw 4000h
; ...
mov cl,byte1 ;processing bytes:
mov dl,40h
add cl,dl ;register to register
sub cl,20h ;immediate to register
add byte1,bl ;register to memory
mov cx,word1 ;processing words
mov dx,2000h
sub cx,dx ;register from register
sub cx,124h ;immediate from register
add word1,dx ;register from memory
```

雙字組資料相加

```
dblword1 dd 0123bc62h ;define double words
dblword2 dd 0012553ah
dblword3 dd 0
; ...
mov eax,dblword1 ;add and store
add eac,dblword2 ; doubleword
mov dblword3,eax ; values
```


資料格式轉換

```
cbw                ;extend al sign into ah
add                ax,20h    ;add to ax

movzx             cx,byteval  ;byte in cl, zero in ch
movsx             wordval,dl  ;byte into word, fill with sign

mov               ax,word1    ;move word to ax
cwd               ;extend word to DX:AX
```

```
mov ax,word1      ;move word to ax
cwde              ;extend word to eax

movzx             ecx, wordval ;word in cx, fill with zero
movsx             dblword,dx  ;word in dblword, fill with sign

mov eax,dbword    ;move double word to eax
cdq               ;extend double word to EDX:EAX
```

乘法

[label:] MUL/IMUL register/memory

只有一個運算元 (乘數), 另一個(被乘數)隱含為暫存器 A (AL, AX 或 EAX 視運算元的位元數而定)

乘數為8位元, 被乘數是AL, 乘積(16位元)放在 AX

乘數為16位元, 被乘數是AX, 乘積(32位元)放在 DX:AX

乘數為32位元, 被乘數是EAX, 乘積(64位元)放在 EDX:EAX

例子

```
Byte1      db    80h
byte2      db    40h
word1      dw    8000h
word2      dw    2000h
dword1     dd    00018402h
dword2     dd    00012501h
;
mov        al,byte1    ;byte x byte
mul        byte2       ; product in ax (2000h)
;
mov        ax,word1    ;word x word
mul        word2       ;product in DX:AX (1000 0000h)
;
movzx     ax,byte1     ;byte x word
mul        word1       ; product in DX:AX (0040 0000h)
;
move      eax,dword1;doubleword x doubleword
mul        dword2      ; product in EDX:EAX
; (00000001 bc17ce02h)
```



```

mov     al,byte1    ;byte x byte
imul   byte2       ; product in ax (0e000h)
;
mov     ax,word1    ;word x word
imul   word2       ; product in DX:AX
                        ;(0f000 0000h)
;
movsx  ax,byte1    ;byte x word
imul   word1       ; product in DX:AX
                        ;(0040 0000h)

```

新的IMUL指令

- **16-bit immediate:**

```
[label:] IMUL register,immediate
```

- **32-bit immediate:**

```
[label:] IMUL register,memory,immediate
```

- **16/32-bit:**

```
[label:] IMUL register,register/memory
```

雙字組乘字組

<table style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">b</td> </tr> <tr> <td style="border: none; padding: 5px;">x</td> <td style="border: none;"></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="border-top: 1px solid black; border-bottom: 1px solid black;"></td> </tr> <tr> <td style="border: none; padding: 5px;">+</td> <td style="border: none;"></td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a*c_H</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a*c_L</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;"></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;"></td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;"></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;"></td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;"></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;"></td> </tr> </table>	a	b	x				+		a*c _H	a*c _L							<table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">MULTCAN</td> <td style="padding: 2px 10px;">DW</td> <td style="padding: 2px 10px;">2521H</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="padding: 2px 10px;">DW</td> <td style="padding: 2px 10px;">3206H</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">MULTPLR</td> <td style="padding: 2px 10px;">DW</td> <td style="padding: 2px 10px;">6400H</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">PRODUCT</td> <td style="padding: 2px 10px;">DW</td> <td style="padding: 2px 10px;">0,0,0</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="padding: 5px 0 5px 20px;">...</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">MOV</td> <td style="padding: 2px 10px;">AX,</td> <td style="padding: 2px 10px;">MULTCAN</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">MUL</td> <td style="padding: 2px 10px;">MULTPLR</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">MOV</td> <td style="padding: 2px 10px;">PRODUCT,</td> <td style="padding: 2px 10px;">AX</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">MOV</td> <td style="padding: 2px 10px;">PRODUCT+2,</td> <td style="padding: 2px 10px;">DX</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">MOV</td> <td style="padding: 2px 10px;">AX,</td> <td style="padding: 2px 10px;">MULTCAN+2</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">MUL</td> <td style="padding: 2px 10px;">MULTPLR</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">ADD</td> <td style="padding: 2px 10px;">PRODUCT+2,</td> <td style="padding: 2px 10px;">AX</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">ADC</td> <td style="padding: 2px 10px;">PRODUCT+4,</td> <td style="padding: 2px 10px;">DX</td> </tr> </table>	MULTCAN	DW	2521H		DW	3206H	MULTPLR	DW	6400H	PRODUCT	DW	0,0,0	...			MOV	AX,	MULTCAN	MUL	MULTPLR		MOV	PRODUCT,	AX	MOV	PRODUCT+2,	DX	MOV	AX,	MULTCAN+2	MUL	MULTPLR		ADD	PRODUCT+2,	AX	ADC	PRODUCT+4,	DX
a	b																																																							
x																																																								
+																																																								
a*c _H	a*c _L																																																							
MULTCAN	DW	2521H																																																						
	DW	3206H																																																						
MULTPLR	DW	6400H																																																						
PRODUCT	DW	0,0,0																																																						
...																																																								
MOV	AX,	MULTCAN																																																						
MUL	MULTPLR																																																							
MOV	PRODUCT,	AX																																																						
MOV	PRODUCT+2,	DX																																																						
MOV	AX,	MULTCAN+2																																																						
MUL	MULTPLR																																																							
ADD	PRODUCT+2,	AX																																																						
ADC	PRODUCT+4,	DX																																																						

雙字組乘雙字組

<table style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">b</td> </tr> <tr> <td style="border: none; padding: 5px;">x</td> <td style="border: none;"></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="border-top: 1px solid black; border-bottom: 1px solid black;"></td> </tr> <tr> <td style="border: none; padding: 5px;">+</td> <td style="border: none;"></td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a*c_H</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">a*c_L</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;"></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;"></td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;"></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;"></td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;"></td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;"></td> </tr> </table>	a	b	x				+		a*c _H	a*c _L							<table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">MULTCAN</td> <td style="padding: 2px 10px;">DW</td> <td style="padding: 2px 10px;">2521H</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="padding: 2px 10px;">DW</td> <td style="padding: 2px 10px;">3206H</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">MULTPLR</td> <td style="padding: 2px 10px;">DW</td> <td style="padding: 2px 10px;">0A26H</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">PRODUCT</td> <td style="padding: 2px 10px;">DW</td> <td style="padding: 2px 10px;">6400H</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">PRODUCT</td> <td style="padding: 2px 10px;">DW</td> <td style="padding: 2px 10px;">0,0,0,0</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="padding: 5px 0 5px 20px;">...</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">MOV</td> <td style="padding: 2px 10px;">AX,</td> <td style="padding: 2px 10px;">MULTCAN</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">MUL</td> <td style="padding: 2px 10px;">MULTPLR</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">MOV</td> <td style="padding: 2px 10px;">PRODUCT,</td> <td style="padding: 2px 10px;">AX</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">MOV</td> <td style="padding: 2px 10px;">PRODUCT+2,</td> <td style="padding: 2px 10px;">DX</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">MOV</td> <td style="padding: 2px 10px;">AX,</td> <td style="padding: 2px 10px;">MULTCAN</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">MUL</td> <td style="padding: 2px 10px;">MULTPLR+2</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">ADD</td> <td style="padding: 2px 10px;">PRODUCT+2,</td> <td style="padding: 2px 10px;">AX</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">ADC</td> <td style="padding: 2px 10px;">PRODUCT+4,</td> <td style="padding: 2px 10px;">DX</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">ADC</td> <td style="padding: 2px 10px;">PRODUCT+6,</td> <td style="padding: 2px 10px;">0</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">MOV</td> <td style="padding: 2px 10px;">AX,</td> <td style="padding: 2px 10px;">MULTCAN+2</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">MUL</td> <td style="padding: 2px 10px;">MULTPLR</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">ADD</td> <td style="padding: 2px 10px;">PRODUCT+2,</td> <td style="padding: 2px 10px;">AX</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">ADC</td> <td style="padding: 2px 10px;">PRODUCT+4,</td> <td style="padding: 2px 10px;">DX</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">ADC</td> <td style="padding: 2px 10px;">PRODUCT+6,</td> <td style="padding: 2px 10px;">0</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">MOV</td> <td style="padding: 2px 10px;">AX,</td> <td style="padding: 2px 10px;">MULTCAN+2</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">MUL</td> <td style="padding: 2px 10px;">MULTPLR+2</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">ADD</td> <td style="padding: 2px 10px;">PRODUCT+4,</td> <td style="padding: 2px 10px;">AX</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">ADC</td> <td style="padding: 2px 10px;">PRODUCT+6,</td> <td style="padding: 2px 10px;">DX</td> </tr> </table>	MULTCAN	DW	2521H		DW	3206H	MULTPLR	DW	0A26H	PRODUCT	DW	6400H	PRODUCT	DW	0,0,0,0	...			MOV	AX,	MULTCAN	MUL	MULTPLR		MOV	PRODUCT,	AX	MOV	PRODUCT+2,	DX	MOV	AX,	MULTCAN	MUL	MULTPLR+2		ADD	PRODUCT+2,	AX	ADC	PRODUCT+4,	DX	ADC	PRODUCT+6,	0	MOV	AX,	MULTCAN+2	MUL	MULTPLR		ADD	PRODUCT+2,	AX	ADC	PRODUCT+4,	DX	ADC	PRODUCT+6,	0	MOV	AX,	MULTCAN+2	MUL	MULTPLR+2		ADD	PRODUCT+4,	AX	ADC	PRODUCT+6,	DX
a	b																																																																																								
x																																																																																									
+																																																																																									
a*c _H	a*c _L																																																																																								
MULTCAN	DW	2521H																																																																																							
	DW	3206H																																																																																							
MULTPLR	DW	0A26H																																																																																							
PRODUCT	DW	6400H																																																																																							
PRODUCT	DW	0,0,0,0																																																																																							
...																																																																																									
MOV	AX,	MULTCAN																																																																																							
MUL	MULTPLR																																																																																								
MOV	PRODUCT,	AX																																																																																							
MOV	PRODUCT+2,	DX																																																																																							
MOV	AX,	MULTCAN																																																																																							
MUL	MULTPLR+2																																																																																								
ADD	PRODUCT+2,	AX																																																																																							
ADC	PRODUCT+4,	DX																																																																																							
ADC	PRODUCT+6,	0																																																																																							
MOV	AX,	MULTCAN+2																																																																																							
MUL	MULTPLR																																																																																								
ADD	PRODUCT+2,	AX																																																																																							
ADC	PRODUCT+4,	DX																																																																																							
ADC	PRODUCT+6,	0																																																																																							
MOV	AX,	MULTCAN+2																																																																																							
MUL	MULTPLR+2																																																																																								
ADD	PRODUCT+4,	AX																																																																																							
ADC	PRODUCT+6,	DX																																																																																							

以移位來作乘法

- 左移一位相當於乘以2, 左移二位相當於乘以4, ...
- DX:AX 左移4位 (乘以16)

SHL	DX,4	DH	DL	AH	AL				
		8	7	6	5	4	3	2	1
MOV	BL,AH	DH	DL	AH	AL				
SHL	AX,4	7	6	5	0	3	2	1	0
SHR	BL,4					BL			
						4	3		
OR	DL,BL					0	4		

除法

[label:] DIV/IDIV register/memory

只有一個運算元 (除數), 另一個(被除數)隱含為暫存器 A (AX, DX:AX 或 EDX:EAX 視運算元的位元數而定)

除數為8位元, 被除數是AX, 商(8位元)放在 AL, 餘數(8位元)放在 AH

除數為16位元, 被除數是DX:AX, 商(16位元)放在 AX, 餘數(16位元)放在 DX

除數為32位元, 被除數是EDX:EAX, 商(32位元)放在 EAX, 餘數(32位元)放在 EDX

若商的位元數超出範圍, 即為超限 OF=1

DIV 的例子

```
BYTE1      DB      80H
BYTE2      DB      16H
WORD1      DB      2000H
WORD2      DB      0010H
WORD3      DB      1000H
;
          MOV     AX,WORD1
          DIV     BYTE1      ;AH:0, AL:40H
;
          MOVZX  AX,BYTE1
          DIV     BYTE2      ;AH:12H, AL:05H
;
          MOV     DX,WORD2
          MOV     AX,WORD3
          DIV     WORD1      ;DX:1000H, AX:80H
;
          MOV     AX,WORD1
          SUB     DX,DX
          DIV     WORD3      ;DX:0, AX:2
```

IDIV 的例子

```
BYTE1      DB      80H
BYTE2      DB      16H
WORD1      DB      2000H
WORD2      DB      0010H
WORD3      DB      1000H
;
          MOV     AX,WORD1
          IDIV   BYTE1      ;AH:0, AL:0C0H
;
          MOVSX  AX,BYTE1
          IDIV   BYTE2      ;AH:0EEH, AL:0FBH
;
          MOV     DX,WORD2
          MOV     AX,WORD3
          IDIV   WORD1      ;DX:1000H, AX:80H
;
          MOV     AX,WORD1
          SUB     DX,DX
          IDIV   WORD3      ;DX:0, AX:2
```

用連續減法作除法

AX 除以 BX, 商在 CX, 餘數在 AX

```
                SUB  CX,CX
L20:            CMP  AX,BX
                JB   L30
                SUB  AX,BX
                INC  CX
                JMP  L20
L30:            ...
```

DX:AX 除以 BX, 商在 CX, 餘數在 AX

```
                SUB  CX,CX
L20:            CMP  DX,0
                JNE  L30
                CMP  AX,BX
                JB   L40
L30:            SUB  AX,BX
                SBB  DX,0
                INC  CX
                JMP  L20
L40:            ...
```

以移位來作除法

- 右移一位相當於除以2, 右移二位相當於除以4, ...
- DX:AX 右移4位 (除以16)

SHR AX,4

MOV BL,DL

SHR DX,4

SHL BL,4

OR AH,BL

DH		DL		AH		AL	
8	7	6	5	4	3	2	1

DH		DL		AH		AL	
0	8	7	6	0	4	3	2

BL	
6	5

5	0
---	---

正負號轉換: NEG 指令

- [label:] NEG register/memory

NEG CL

NEG BX

求 DX:AX 的二補數

NOT DX

NOT AX

ADD AX,1

ADC DX,0

數值資料處理機

八個80位元暫存器 R1 - R8

正負號	指數		有效數字
79	78	64	63

七種資料格式

- word integer

正負號	數值	
15	14	0

- short integer

正負號	數值	
31	30	0

- Long integer

正負號	數值	
63	62	0

- short real

正負號	指數		有效數字
31	30	23	22

- long real

正負號	指數		有效數字
63	62	52	51

- temporary real

正負號	指數		有效數字
79	78	64	63 0

- packed decimal

正負號	零		有效數字
79	78	72	71 0