תוכניות דוגמא math_s2.c, mathsu2a.asm, math_s1.c, mathsula.asm math_s3.c, mathsu4a.asm,

כל שלושת התוכניות המשלבות הללו עושות אותו דבר: מקבלות 2 מספרים מהמשתמש, מחשבות את ההפרש ביניהם ומדפיסות את התוצאה על המסך. ההבדל היא ברור שהם עובדים כו: הראשונה היא ב-float, השניה היא ב-double והשלישי היא ב- long double.

בכל שלושת התוכניות ההפרש מחושב בפונקציה הכתובה בקובץ אסמבלי טהור בשם math_sub, אך הן נבדלות בהגדרת סוג הפרמטרים ובטוג התוצאה. math_sub תמיד מחזיר את תוצאת החיסור ב-ST(0), כי כאשר פונקצית Turbo C מחזירה תוצאה ממשית היא מוחזרת ב-ST(0) בלי קשר לשאלה אם מדובר ב-float, double או long double.

המימושים של math_sub ב-mathsula.asm שהוא המימוש של ההפרש ב-float וזו ב-mathsu2a.asm שהוא המימוש של ההפרש ב-double ממשות את אותו האלגוריתם. בשני הריצות מדובר במהלך של טעינת 325.89 לתוך ST(0) ולאחר החסרת 542.67 יהיה ב-ST(0) המספר 216.78-.

שני המימושים הללו נבדלים רק בשתי שורות:

ב-mathsula.asm

```
FLD  DWORD PTR [BP+4]
FSUB DWORD PTR [BP+8]
```

ב-mathsula.asm

```
FLD  QWORD PTR [BP+4]
FSUB QWORD PTR [BP+12]
```

לפיכך ההבדל בין 2 המימושים הוא בצורת ההתיחסות לפרמטרים והצורך להביא בחשבון את גודלם במחסנית. זאת משום ששיטת החישוב כאן עקרונית זהה: התוכנית קוראת את המספר הראשון מהמחסנית לתוך ST(0) ומחסירה ממנו את המספר השני ממקומו במחסנית. זאת משם שניתן להחסיר מספרים ממשיים 32 ו-64 בזכרון ביט מ-ST(0).

כל זה לא נכון אם מדובר חישוב הפרש של מספרים long double. במקרה הזה חייבים לקרוא את שני המספרים לתוך אוגרי המעבד המתמטי ולבצע את ההפרש שם. ואכן המימוש של החיסר בקובץ mathsu4a.c הינו

```
FLD TBYTE PTR [BP+4]
FLD TBYTE PTR [BP+14]
FSUB
```

שים לב שחשוב הסדר של טעינת האופרנדים וש-FSUB ללא אופרנדים עושה POP אוטומטי ומשחרר את ST(1) כפי שהדבר נחוץ. לפיכך המהלך המתרחש בזמן הריצה של התוכנית הינו:

שלב ראשון

ST(0)	325.89
ST(1)	ריק

שלב שני

ST(0)	542.78
ST(1)	325.89

שלב שלישי

ST(0)	-216.78
ST(1)	ריק

נקודות נוספות שיש לשים לב אליהן:

- בכדי שהאסמבלר יכיר בפקודות מכונה של המעבד המתמטי יש לציין הנחיה מתאימה כמו .387, .87, .8087 וכו'.

- אי אפשר לציין .387 לבד בלי .386 קודם ובצורה דומה להנחיות דומות (.87 היא יוצא דופן בכלל הזה).

- התוכניות האסמבלי נכתבו באסמבלי סטנדרטי לא משום שיש צורך מיוחד בכך ולא משום שיש שיקול מיוחד בהקשר של תכנות המעבד המתמטי, אלא בכדי להמחיש גם את הנושא הזה בקורס.

- כאשר משלבים תוכנית אסמבלי סטנדרטי בתוכנית Turbo C חייבים לבחור את שמות הסגמנטים ש-Turbo C בוחר, וחלק מאותם המאפיינים. סגמנט הקוד של תוכנית האסמבלי נקרא _TEXT משום שזהו השם ש-Turbo C בוחר, ומאפיינים נוספים שחייבים להבחר הם PUBLIC ו-'CODE'. הנוהג לכנות את הסגמנט הביצועי בשם (הלא מוצלח לדעת רבים) text segment הוא כנראה נוהג מראשית ימי המחשבים, שקשור כנראה לשיטת העבודה של תכנות באותם ימים.

```
/* math_s1.c -
        Call math_sub (assembler, math co-processor)  */

#include <stdio.h>

extern float math_sub(float u, float v );

void main(void)
{
  float x, y, z;

  puts("Enter two reals:");
  scanf("%f %f", &x, &y);
  z = math_sub(x, y );
  printf("\n%f - %f = %f\n", x, y, z);

} /* main */
```

```
E:\>math_s1
Enter two reals:
325.89  542.67

325.890015 - 542.669983 = -216.779968

E:\>
```

```
;    mathsu1.asm - implement asembler C-callable procedure
;     float math_sub( float u,    float v ).
;                        [BP+4]      [BP+8]
;
; Result returned in ST
;
     .MODEL SMALL
     .STACK 100h
     PUBLIC _math_sub
;
     .CODE
     .386
     .387
_math_sub  PROC NEAR
;
     PUSH BP                          ; Preserve BP register
     MOV  BP,SP
;
     FLD  DWORD PTR [BP+4]       ; Read u into ST
     FSUB DWORD PTR [BP+8]       ; ST = ST - v
;
     POP  BP                          ; Restore BP
     RET                              ; Return to caller
_math_sub  ENDP
     END
```

```
/* math_s2.c -
        Call math_sub (assembler, math co-processor)  */

#include <stdio.h>

extern double math_sub(double u, double v );

void main(void)
{
  double x, y, z;

  puts("Enter two reals:");
  scanf("%lf %lf", &x, &y);
  z = math_sub(x, y );
  printf("\n%lf - %lf = %lf\n", x, y, z);

} /* main */
```

```
E:\>math_s2
Enter two reals:
325.89  542.67

325.890000 - 542.670000 = -216.780000

E:\>
```

```
;    mathsu2.asm - implement asembler C-callable procedure
;     float math_sub( double u,    double  v ).
;                          [BP+4]       [BP+12]
;
; Result returned in ST
;
     .MODEL SMALL
;
     PUBLIC _math_sub
;
     .CODE
     .386
     .387
_math_sub  PROC NEAR
;
     PUSH BP                          ; Preserve BP register
     MOV  BP,SP
;
     FLD  QWORD PTR [BP+4]          ; Read u into ST
     FSUB QWORD PTR [BP+12]          ; ST = ST - v
;
     POP  BP                          ; Restore BP
     RET                              ; Return to caller
_math_sub  ENDP
     END
```

```
/* math_s3.c -
        Call math_sub (assembler, math co-processor)  */

#include <stdio.h>

extern long double math_sub(long double u, long double v );

void main(void)
{
  long double x, y, z;

  puts("Enter two reals:");
  scanf("%Lf %Lf", &x, &y);
  z = math_sub(x, y );
  printf("\n%Lf - %Lf = %Lf\n", x, y, z);

} /* main */
```

```
E:\>math_s3
Enter two reals:
325.89  542.67

325.890000 - 542.670000 = -216.780000

E:\>
```

```
;    mathsu3.asm - implement asembler C-callable procedure
;    long double math_sub(
;        long double u, long double v ).
;           [BP+4]          [BP+14]
;
; Result returned in ST
;
     .MODEL SMALL
;
     PUBLIC _math_sub
;
     .CODE
     .386
     .387
_math_sub  PROC NEAR
;
     PUSH BP                          ; Preserve BP register
     MOV  BP,SP
;
     FLD  TBYTE PTR [BP+4]       ; Read u into ST
     FLD  TBYTE PTR [BP+14]      ; ST = v, ST(1) = u
     FSUBP  ST(1),ST              ; ST(1) = ST(1) - ST,
                                 ; pop (ST = ST(1), ST(1) = Empty)
     POP  BP                          ; Restore BP
     RET                              ; Return to caller
_math_sub  ENDP
     END
```

```
;    mathsu31.asm - implement asembler C-callable procedure
;    long double math_sub(
;        long double u, long double v ).
;           [BP+4]          [BP+14]
;
; Result returned in ST
;
     .MODEL SMALL
;
     PUBLIC _math_sub
;
     .CODE
     .386
     .387
_math_sub  PROC NEAR
;
     PUSH BP                          ; Preserve BP register
     MOV  BP,SP
;
     FLD  TBYTE PTR [BP+4]       ; Read u into ST
     FLD  TBYTE PTR [BP+14]      ; ST = v, ST(1) = u
     FSUB                        ; ST(1) = ST(1) - ST,
                                 ; pop (ST = ST(1), ST(1) = Empty)
     POP  BP                      ; Restore BP
     RET                          ; Return to caller
_math_sub  ENDP
     END
```

ביצוע השוואות במעבד המתמטי

אחד התפקידים של המעבד המתימטי הוא לתמוך בהשוואות בין מספרים ממשיים: כלומר לדעת בין שני מספרים (שלפחות אחד מהם, מן הסתם, ממשי) האם הם שווים, או האם הראשון גדול מהשני וכו'. התהליך אינו לחלוטין פשוט.

לפני שנכנס לפרטים של איך זה עובד ולמה זה נכון, להלן מרשם איך לבצע את השוואה בין שני מספרים.

הדרך המקובלת לבצע השוואה בין שני מספרים הוא כלהלן:

1. הבא לפחות את אחד המספרים לתוך אחד מאוגרי ה-ST(i).
2. השתמש באחד מפקודות ההשוואה (FCOMx, FICOMx)
3. בצע את הפקודת המכונה FSTSW AX
4. בצע את פקודת המכונה SAHF
5. במידה וקיימת אפשרות שהאופרנדים אינם ניתנים להשוואה בדוק זאת על ידי בדיקת ה-PF (על ידי הפקודות JP או JNP).
6. המשך כאילו בצעת את פקודת המכונה CMP על אופרנדים שלמים, אותם אתה מעונין לפרש כמספרים שלמים חסרי סימן.

לדוגמא, הקוד הבא משווה בין שני משתנים ממשיים בזכרון Var1 ו-Var2 (32 או 64 ביט, נניח), כאשר הוא מציב לתוך CX את הערך 1 אם Var1 > Var2. לצידו ישנו קוד מקביל למצב שבו Var1 ו-Var2 היו משתנים שלמים 32 ביט:

```
MOV CX,1

FLD Var1
FCOMP Var2
FSTSW AX
SAHF

JA  Skip1
  MOV CX,0
Skip1:
```

```
MOV CX,1

MOV DX,Var1
CMP DX,Var2

JA  Skip1
  MOV CX,0
Skip1:
```

שים לב בשימוש ב-JA ולא ב-JG.

מנגנון ההשוואה.

בתוך ה-Status Word קיימים ארבע ביטים הקרויים C0, C1, C2, C3.

כאשר מתבצע השוואה, הביטים C0, C2, C3 הם שמכילים את תוצאת ההשוואה.

C2 משקף מצב שבו האיברים שנעשו בהם השוואה אינם ניתנים להשוואה (ערכים מיוחדים של NaN, אינסוף)

C0 ו-C3 מכילים את תוצאות ההשוואה (בהנחה שהאופרנדים היו תקינים).

C3 הוא למעשה ה-Zero Flag של המעבד המתימטי: C3 = 1 פירושו שהאופרנים היו שווים.

C0 = 1 אם האופרנד השני (Var2 בדוגמא) גדול מהראשון. האופרנד הראשון הוא בדרך כלל ST(0).

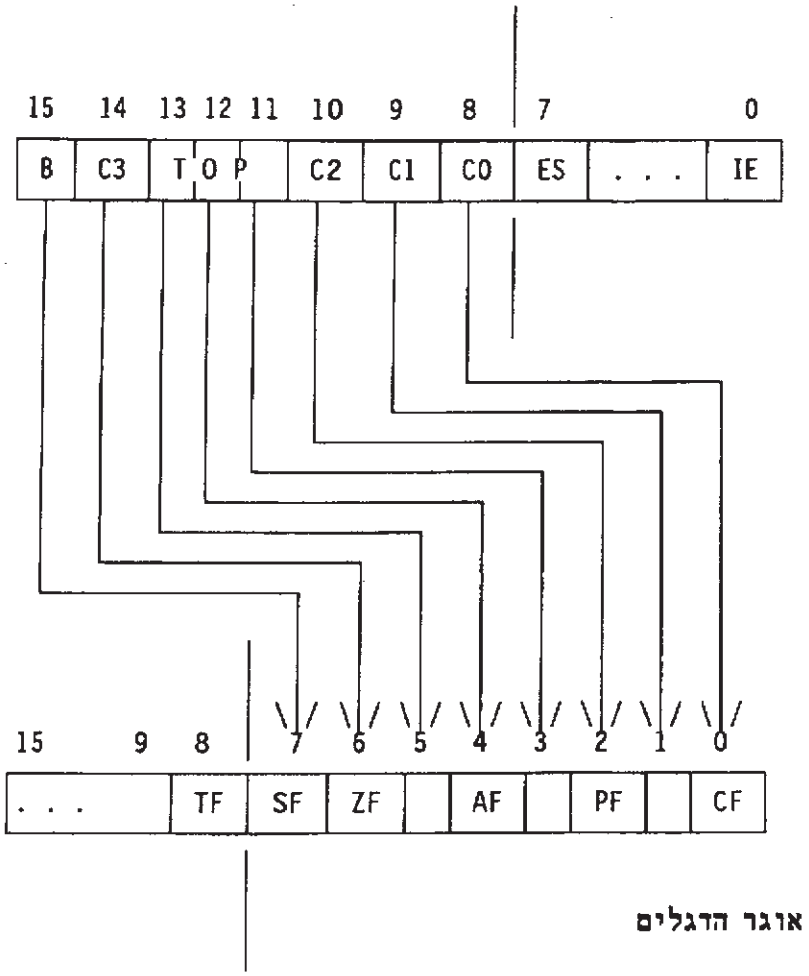
לפיכך אפשר לסכם את משמעות הביטים C0, C2, C3 בטבלה הבאה:

C3	C2	C0	משמעות
0	0	0	אופרנד ראשון > אופרנד שני
0	0	1	אופרנד ראשון < אופרנד שני
1	0	0	אופרנד ראשון == אופרנד שני
1	1	1	אופרנדים בלתי ניתנים להשוואה

הפקודה FSTSW AX מעביר את תוכן ה-Status Word לתוך AX.

הפקודה SAHF מעתיקה את AH לתוך החלק התחתון של אוגר הדגלים. במידה ו-AX מכיל את תוכן ה-Status Word, משמעות הדבר יהיה ש- PF יקבל את הערך של C2, ZF יקבל את הערך של C3, ו-CF יקבל את הערך של C0.

ה-Status Word של המעבד המתמטי



כהערות אגב נוסיף את הפרטים הבאים על C0 - C3:

ל-C1 אין תפקיד בהשוואה בין מספרים.

ל-C1 יש מספר תפקידים. במקרים של ביצוע פעולה חוקית שמחייב עיגול (למשל חישוב 1/3) הערך שלו משקף את סוג העיגול שהתבצע בפועל (עיגול כלפי מעלה C1 = 1, כלפי מטה C1 = 0).

ל-C1 יש גם תפקיד בפענוח מקרה של Stack Fault (0 במקרה של Underflow, 1 במקרה של Overflow). כלומר תפקידו לאפשר הבדלה בין מצב שניסינו להכניס איבר חשיעי למחסנית (Stack Overflow) נניח ע"י FLD לבין מצב שניסינו לרוקן מהמחסנית יותר איברים משהיו בה (Stack Underflow) נניח ע"י FCOMPP

כאשר היה רק ערך אחד במחסנית.

ל-C0, C1, C3 יש גם תפקיד מיוחד בפקודות FPREM ו-FPREM1: הם מכילים את הביטים הכי פחות משמעתיים של התוצאה (C2 מקבל 0 בפקודות הללו). לא נכנס לזה כאן.

<u>סיכום</u>

המנגנון מתנהל כך: ביצוע אחת מפקודות ה-FCOM קובע את ערכי ה- C0, C2, C3, הפקודה FSTSW AX מעבירה את הערכים ל-AX והפקודה SAHF מעבירה אותם משם לדגלים ZF = C3, CF = C0, PF = C2. בדיקת PF מאפשר לנו לגלות שהבדיקה היתה בין אופרנדים שאינם ניתנים להשוואה. במידה שזה לא היה המקרה (או שמראש אין אפשרות כזו) ZF = 1 משקף מצב של שיוון ובמידה ו-ZF = 0 אזי CF משקף מי מהאופרנדים גדול יותר: CF = 0 הראשון, CF = 1 השני. קצת אנליזה תראה שזה בדיוק המצב של השוואת בין מספרים חסרי סימן, כאשר CF משקף אפשרות של Borrow של חיסור חסרי סימן.

כמובן שאפשר גם לבדוק את ערכי הביטים ישירות לאחר הפקודה FSTSW AX ע"י הפקודות TEST או AND. אחת מתוכניות הדוגמא שבהמשך ממשת את האפשרות הזו.

תוכניות דוגמא ccomp1.c, mc1.asm, ccomp2.c mc2.asm, ccomp3.c ו-mc3.asm

מטרת התוכניותח המשולבות הזו להמחיש את נושא השוואת 2 מספרים ממשיים במעבד המתמטי.

התוכנית הראשית הכתובה ב-C מקבלת 2 מספרים מהמשתמש כפרמטרים לתוכנית ראשית וקוראת לפונקציית האסמבלי comp להשוות ביניהם. comp מחזירה תוצאה שלמה 0 אם שניהם שווים, 1 אם הפרמטר הראשון גדול מהשני ו-1- אם הפרמטר השני גדול מהראשון. ההנחה היא ששני המספרים הממשיים תקינים, לא מביאים בחשבון את האפשרות של "לא ניתנים להשוואה". הזוג ccomp1.c ו-mc1.asm מישם את החישוב ב-float, הזוג ccomp2.c ו-mc2.asm מישם את החישוב ב-double ו-הזוג ccomp3.c ו-mc3.asm מישם את החישוב ב-long double.

אשר למימוש של עצמם, הם נעשים לפי המרשם של השוואות מספרים במעבד המתמטי שתואר קודם. התוכניות mc1.asm ו-mc2.asm מנצלות את העובדה שניתן בפקודה FCOMP להשוות מספרים ממשיים 32 ו-64 ביט ישירות מהזכרון ואילו mc3.asm, מאחר והיא משווה 2 מספרים 80 ביט, חייבת לטעון את שניהם לאוגרי המעבד ומבצעת שם את הפקודה FCOMPP. שימו לב לסדר הטעינה של המספרים ב-mc3.asm. על מנת לשמר ב-mc3.asm את אותה פקודת הסתעפות (JBE) כמו ב-mc1.asm ו-mc2.asm, התוכנית טוענת למעבד קודם את המספר השני ורק אחריו את המספר הראשון. בתוכנית הדבר בא לידי ביטוי בשורות

```
FLD  TBYTE PTR [BP+14]  ;  ST(0) = p1
FLD  TBYTE  PTR [BP+4]
FCOMPP                  ; Compare p1 with p2, pop twice
```

זאת משום שהפקודה FCOMPP משווה את ST(0) לעומת ST(1).

מענין לעשות אנלוגיה למצב שבו נניח היינו רוצים לממש רוטינה דומה המחזירה אותה תשובה נניח אם היינו משוים 2 מספרים אי שליליים 32 ביט.

השוואה במעבד המתימטי		אנלוגיה לשלמים
FLD DWORD PTR [BP+4]	┬	MOV EAX,[BP+4]
FCOMP DWORD PTR [BP+8]	│	CMP EAX,[BP+8]
FSTSW AX	│	
SAHF	┴	
JBE Not_Above		JBE Not_Above
MOV AX,1		MOV AX,1
JMP SHORT Finish		JMP SHORT Finish
Not_Above:		Not_Above:
JE Equal		JE Equal
MOV AX,-1		MOV AX,-1
JMP SHORT Finish		JMP SHORT Finish
Equal:		Equal:
MOV AX,0		MOV AX,0
Finish:		Finish:
POP BP		POP BP
RET		RET

הערה: "JMP SHORT" מנחה את האסמבלר לבחור את הגרסה של 127+ 128- של JMP. במקרה של הסתעפות קדימה זה מיעל במשהו את הקובץ הבינארי שנוצר. זה לא קשור בהכרח למעבד המתמטי. לא נכנס לזה כאן.

```
/* ccomp1.c  - compare real numbers */

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

extern int comp( float p1, float p2 );

void main(int argc, char *argv[])
{
  float x, y;
  int cmp_flag;

  if (argc < 3)
    {
     fprintf(stderr,"Usage: ccomp1 real1 real2\n");
     exit(1);
    }

  sscanf(argv[1],"%f", &x);
  sscanf(argv[2],"%f", &y);

  cmp_flag = comp(x,y);

  if ( cmp_flag == 0 )
     printf("%f == %f\n\n", x, y);
  else
    if ( cmp_flag > 0 )
       printf("%f > %f\n\n", x, y);
   else
    if ( cmp_flag < 0 )
       printf("%f < %f\n\n", x, y);

}   /* main */
```

```
E:\>tcc ccomp1.c mc1.asm
Turbo C++ Version 3.00 Copyright (c) 1992 Borland International
ccomp1.c:
mc1.asm:
Turbo Assembler  Version 3.1  Copyright (c) 1988, 1992 Borland
International

Assembling file:   mc1.ASM
Error messages:    None
Warning messages:  None
Passes:            1
Remaining memory:  398k

Turbo Link  Version 5.0 Copyright (c) 1992 Borland International

        Available memory 4104476

E:\>CCOMP1.EXE 432.65 988.22
432.649994 < 988.219971

E:\>
```

```
;  mc1.asm  - Compare within the math coprocessor
;
;       int _comp( float p1, float p2)
;                    [BP+4]    [BP+8]
;
;  If p1 = p2,    Return  0
;  If p1 > p2,    Return  1
;  If p1 < p2,    Return -1
;
;FCOMP =  Compare and Pop
;Return    C3  C2  C1  C0  Meaning
;          0   0   ?   0    ST > Source
;          0   0   ?   1    ST < Source
;          1   0   ?   0    ST == Source
;          1   1   ?   1    ST is not comparable to source
;
; SAHF - Store AH into flags
;
;  Status Word
;  ------------
;  15  14   13 12 11  10    9    8    7    6    5    4    3    2   1   0
;  ---+----+--+--+--+----+----+----+----+----+----+----+----+----+----+----
; | B | C3 |  TOP   | C2 | C1 | C0 | ES | SF | PE | UE | OE | ZE | DE | IE |
;  ---+----+--+--+--+----+----+----+----+----+----+----+----+----+----+----
;
  PUBLIC _comp
;
  .MODEL SMALL
;
 .CODE
 .386
 .387
_comp   PROC    NEAR
   PUSH   BP
   MOV    BP,SP
   FLD      DWORD PTR [BP+4]   ;  ST(0) = p1
   FCOMP    DWORD PTR [BP+8]   ; Compare ST with p2, pop
   FSTSW   AX                  ;  Store comparison result in AX
;
   SAHF     ; Store C3, C2, C0 in Flags register (ZF, PF, CF)
   ;
   ; Proceed as we did CMP on two unsigned integer operands
   ;
            ; Was  ST > ST(1)  ( p1 > p2 ) ?
   JBE     Not_Above        ; No, more tests
     MOV   AX,1          ; Yes, return 1
     JMP SHORT Finish
Not_Above:    ; ST <= ST(1)
          ; Was ST < ST(1)  ( p1 < p2 )?
   JE  Equal                  ; No, ST == ST(1)
     MOV   AX,-1         ; Yes, return 0
     JMP SHORT Finish
;
Equal:
   MOV  AX,0  ; ST == ST(1) or incomparible
;
Finish:
   POP   BP
   RET
ENDP _comp
;
;
END
```

```
/* ccomp2.c  - compare real numbers */

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

extern int comp( double p1, double p2 );

void main(int argc, char *argv[])
{
  double x, y;
  int cmp_flag;

  if (argc < 3)
    {
     fprintf(stderr,"Usage: ccomp1 real1 real2\n");
     exit(1);
    }

  sscanf(argv[1],"%lf", &x);
  sscanf(argv[2],"%lf", &y);

  cmp_flag = comp(x,y);

  if ( cmp_flag == 0 )
     printf("%lf == %lf\n\n", x, y);
  else
    if ( cmp_flag > 0 )
       printf("%lf > %lf\n\n", x, y);
   else
    if ( cmp_flag < 0 )
       printf("%lf < %lf\n\n", x, y);

}   /* main */
```

```
E:\>tcc ccomp2.c mc2.asm
Turbo C++ Version 3.00 Copyright (c) 1992 Borland International
ccomp2.c:
mc2.asm:
Turbo Assembler  Version 3.1  Copyright (c) 1988, 1992 Borland
International

Assembling file:   mc2.ASM
Error messages:    None
Warning messages:  None
Passes:            1
Remaining memory:  398k

Turbo Link  Version 5.0 Copyright (c) 1992 Borland International

        Available memory 4103660

E:\>ccomp2.exe 321.2 -400.9
321.200000 > -400.900000


E:\>
```

```
;  mc2.asm  - Compare within the math coprocessor
;
;       int _comp( double p1, double p2)
;                    [BP+4]     [BP+12]
;
;  If p1 = p2,     Return  0
;  If p1 > p2,     Return  1
;  If p1 < p2,     Return -1
;
;FCOMP =  Compare and Pop
;Return    C3  C2  C1  C0  Meaning
;          0   0   ?   0    ST > Source
;          0   0   ?   1    ST < Source
;          1   0   ?   0    ST == Source
;          1   1   ?   1    ST is not comparable to source
;
; SAHF - Store AH into flags
;
;  Status Word
;  ------------
;  15  14   13 12 11  10    9    8    7    6    5    4    3    2   1   0
;  ---+----+--+--+--+----+----+----+----+----+----+----+----+----+----+---
; | B | C3 |  TOP   | C2 | C1 | C0 | ES | SF | PE | UE | OE | ZE | DE | IE |
;  ---+----+--+--+--+----+----+----+----+----+----+----+----+----+----+---
;
;
   .MODEL SMALL
   .CODE
  .386
  .387
_comp   PROC    NEAR
   PUBLIC _comp
    PUSH   BP
    MOV    BP,SP
    FLD      QWORD PTR [BP+4]   ;  ST(0) = p1
    FCOMP    QWORD PTR [BP+12]  ; Compare ST with p2, pop
    FSTSW    AX                 ;  Store comparison result in AX
;
    SAHF     ; Store C3, C2, C0 in Flags register (ZF, PF, CF)
    ;
    ; Proceed as we did CMP on two unsigned integer operands
    ;
             ; Was  ST > ST(1)  ( p1 > p2 ) ?
    JBE     Not_Above        ; No, more tests
      MOV   AX,1          ; Yes, return 1
      JMP SHORT Finish
Not_Above:    ; ST <= ST(1)
           ; Was ST < ST(1)  ( p1 < p2 )?
    JE  Equal                  ; No, ST == ST(1)
      MOV   AX,-1          ; Yes, return 0
      JMP SHORT Finish
;
Equal:
    MOV  AX,0  ; ST == ST(1) or incomparible
;
Finish:
    POP   BP
    RET
ENDP _comp
;
;
END
```

```
;  mc2.asm  - Compare within the math coprocessor
;
;       int _comp( double p1, double p2)
;                    [BP+4]     [BP+12]
;
;  If p1 = p2,     Return  0
;  If p1 > p2,     Return  1
;  If p1 < p2,     Return -1
;
;FCOMP =  Compare and Pop
;Return    C3  C2  C1  C0  Meaning
;          0   0   ?   0    ST > Source
;          0   0   ?   1    ST < Source
;          1   0   ?   0    ST == Source
;          1   1   ?   1    ST is not comparable to source
;
; SAHF - Store AH into flags
;
;  Status Word
;  ------------
;  15  14   13 12 11  10    9    8    7    6    5    4    3    2   1   0
;  ---+----+--+--+--+----+----+----+----+----+----+----+----+----+---+---
; | B | C3 |  TOP   | C2 | C1 | C0 | ES | SF | PE | UE | OE | ZE | DE | IE |
;  ---+----+--+--+--+----+----+----+----+----+----+----+----+----+---+---
;
;
   .MODEL SMALL
   .CODE
  .386
  .387
_comp   PROC    NEAR
   PUBLIC _comp
    PUSH   BP
    MOV    BP,SP
    FLD      QWORD PTR [BP+4]  ;  ST(0) = p1
    FCOMP    QWORD PTR [BP+12]  ; Compare ST with p2, pop
    FSTSW   AX                 ;  Store comparison result in AX
;
    SAHF     ; Store C3, C2, C0 in Flags register (ZF, PF, CF)
    ;
    ; Proceed as we did CMP on two unsigned integer operands
    ;
             ; Was  ST > ST(1)  ( p1 > p2 ) ?
    JBE     Not_Above        ; No, more tests
      MOV   AX,1          ; Yes, return 1
      JMP SHORT Finish
Not_Above:    ; ST <= ST(1)
          ; Was ST < ST(1)  ( p1 < p2 )?
   JE  Equal                  ; No, ST == ST(1)
     MOV   AX,-1         ; Yes, return 0
     JMP SHORT Finish
;
Equal:
   MOV  AX,0  ; ST == ST(1) or incomparible
;
Finish:
   POP   BP
   RET
ENDP _comp
;
;
END
```

```
/* ccomp3.c  - compare real numbers */

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

extern int comp( long double p1, long double p2 );

void main(int argc, char *argv[])
{
  long double x, y;
  int cmp_flag;

  if (argc < 3)
    {
     fprintf(stderr,"Usage: ccomp1 real1 real2\n");
     exit(1);
    }

  sscanf(argv[1],"%Lf", &x);
  sscanf(argv[2],"%Lf", &y);

  cmp_flag = comp(x,y);

  if ( cmp_flag == 0 )
     printf("%Lf == %Lf\n\n", x, y);
  else
    if ( cmp_flag > 0 )
       printf("%Lf > %Lf\n\n", x, y);
   else
    if ( cmp_flag < 0 )
       printf("%Lf < %Lf\n\n", x, y);

}   /* main */
```

```
E:\users\eytan\asm\braude>tcc -v ccomp3.c mc3.asm
Turbo C++ Version 3.00 Copyright (c) 1992 Borland International
ccomp3.c:
mc3.asm:
Turbo Assembler  Version 3.1  Copyright (c) 1988, 1992 Borland
International

Assembling file:   mc3.ASM
Error messages:    None
Warning messages:  None
Passes:            1
Remaining memory:  429k

Turbo Link  Version 5.0 Copyright (c) 1992 Borland International

        Available memory 4138012

E:\>CCOMP3.EXE 654.6 32.87
654.600000 > 32.870000


E:\>
```

```
;  mc3.asm  - Compare within the math coprocessor
;
;       int _comp( long double p1, long double p2)
;                    [BP+4]          [BP+14]
;
;  If p1 = p2,     Return  0
;  If p1 > p2,     Return  1
;  If p1 < p2,     Return -1
;
;FCOMP =  Compare and Pop
;Return    C3  C2  C1  C0  Meaning
;          0   0   ?   0    ST > Source
;          0   0   ?   1    ST < Source
;          1   0   ?   0    ST == Source
;          1   1   ?   1    ST is not comparable to source
;
; SAHF - Store AH into flags
;
;  Status Word
;  ------------
;  15  14   13 12 11  10    9    8    7    6    5    4    3    2   1   0
;  ---+----+--+--+--+----+----+----+----+----+----+----+----+----+----+----
; | B | C3 |  TOP   | C2 | C1 | C0 | ES | SF | PE | UE | OE | ZE | DE | IE |
;  ---+----+--+--+--+----+----+----+----+----+----+----+----+----+----+----
;
;
;
 .MODEL SMALL
 .CODE
 .386
 .387
_comp   PROC    NEAR
  PUBLIC _comp
   PUSH   BP
   MOV    BP,SP
   FLD  TBYTE PTR [BP+14]  ;  ST(0) = p2
   FLD  TBYTE  PTR [BP+4]
   FCOMPP                  ; Compare p1 with p2, pop twice
   FSTSW   AX                ;  Store comparison result in AX
;
   SAHF     ; Store C3, C2, C0 in Flags register (ZF, PF, CF)
   ;
   ; Proceed as we did CMP on two unsigned integer operands
   ;
            ; Was  ST > ST(1) ( p1 > p2 ) ?
   JBE     Not_Above       ; No, more tests
     MOV   AX,1        ; Yes, return 1
     JMP SHORT Finish
Not_Above:   ; ST <= ST(1)
          ; Was ST < ST(1) ( p1 < p2 )?
   JE  Equal                 ; No, ST == ST(1)
     MOV   AX,-1        ; Yes, return 0
     JMP SHORT Finish
;
Equal:
   MOV  AX,0  ; ST == ST(1) or incomparible
;
Finish:
   POP   BP
   RET
ENDP _comp
;
;
END
```

<u>אריתמטיקה של מספרים שלמים במעבד המתמטי</u>

מלבד התמיכה במספרים ממשיים (32, 64 ו-80 ביט) מעבד המתמטי "תומך" באריתמטיקה של מספרים שלמים 16, 32 ו-64 ביט. מאז ה-386 התמיכה במספרים שלמים 16 ו-32 ביט אולי לא כל כך חשוב, אבל עבור מספרים 64 ביט התמיכה כאן היא משמעותית.

ה"תמיכה" במספרים שלמים במעבד המתמטי הוא ב<u>מובן מסוים מאד</u>. היצוג של מספרים באוגרי ה-ST(i) הוא תמיד ממשי - תמיד. התמיכה של המעבד מספרים שלמים בא לידי ביטוי בשתי צורות:

1. <u>המרות</u>: המעבד יודע לקרוא אופרנדים בזכרון בפורמט שלם ולהמיר אותם לממשי, והוא יודע גם לכתוב אופרנדים לזכרון בפורמט שלם תוך המרה מהפורמט הממשי שמשתמש המעבד.

2. ישנם מספר (קטן) של פקודות מכונה בתוך המעבד המדמות פעולות על מספרים שלמים בפורמט הממשי שהמעבד משתמש. דוגמאות לכך הם FRNDINT, FPREM, FPREM1.

תמיכה מסוג 1. הוא העיקר. המעבד מאפשר לכתוב קוד הקרוא מספר שלם לתוך המעבד, לפעול עליו כמספר ממשי ולכותב את התוצאה לזכרון כמספר שלם. גם 1. וגם 2. מסתמכים למעשה על העובדה שהיצוג של מספר שלם כממשי הוא <u>מדויק</u>. היצוג של של המספר השלם 23 הוא 23.0, ולא 22.9999 ולא 23.0001 וכו'. בעוד שקריאת מספרים שלמים לתוך המעבד היא, איפוא, פעולה נעדרת בעיות, כתיבה של מספר ממשי לזכרון עשויה להיות כרוכה ב<u>עיגול</u> המספר, והמתכנת עשוי להיות במצב שעליו לדאוג לכך שיהיה עיגול מהסוג שהוא מעונין בו, אם על ידי הוספה / הפחתה של חצי או מניפולציה של ה-Control Word של המעבד המתמטי. כל הפקודות הללו פועלות על אופרנד בזכרון, שכן בתוך המעבד - הכל ממשי.

הפקודה הקוראת לתוך המעבד מהזכרון מספר בפורמט שלם נקרא FILD (להבדיל מ-FLD שקוראת מהזכרון מספרים בפורמט ממשי). הפקודות הכותבות לזכרון מספר בפורמט שלם נקראים FIST, FISTP (להבדיל מ-FST, FSTP שכותבות מספר בפורמט ממשי). עבור אופרנדים של זכרון 32- 16 ביט ניתן גם לבצע פעולות ארתמטית שאחד האופרנדים (אופרנד מקור בלבד, לא יעד, כלומר אופרנד קריאה בלבד) הוא מספר בזכרון בפורמט ממשי: FIADD, FISUB, FISUBR, FIMUL, FIDIV, FIDIVR. אופרנדי זכרון שלמים בני 64 ביט נתמכים אך ורק בפקודות FILD ו-FISTP. יתר הפקודות תומכות רק באופרנדי זכרון 16 ו-32 ביט בלבד.

לפיכך, אם יש לי 3 משתנים בשם Var1, Var2, ו-Var3 ואני רוצה, נניח, לסכם

את Var1 ו-Var2 כמספרים בפורמט שלם ולהציב את התוצאה בפורמט שלם כ-Var3, הדרך לעשות זאת הוא:

אם Var1, Var2 ו-Var3 הם בגודל 16 או 32 ביט:

```
FILD Var1
FIADD Var2
FISTP  Var3
```

ואם הם בגודל 64 ביט:

```
FILD Var1
FILD Var2
FADD
FISTP Var3
```

שימו לב ש-FADD הוא סכום ממשי.

חיסור וכפל ניתן לפתור באותה צורה משום שהפעולות הללו משמרות את אופי המספרים כמספרים שלמים ביצוג ממשי, דבר שאינו כך בחילוק למשל. במקרה של חילוק המצב יותר מורכב.