## תוכניות דוגמא call_idl.c, idiv_mo4.asm, idiv_mo5.asm

התוכניות הללו משמשות כמובן כדוגמא לקריאה לפרוצדורת אסמבלי מתוך תוכנית C.

ניהול המחסנית של התוכניות תוארו קודם. להלן יתר התיעוד של התוכנית.

מה שהתוכנית המשולבת, call_idl.c עם כל אחד מתוכניות ה-asm, idiv_mo4.asm או idiv_mo5.asm, עושה היא לקבל 2 מספרים שלמים (לאו דווקא חיוביים) ולחשב את החלוקה ללא שארית ושארית החלוקה של 2 המספרים הללו ולהדפיס אותם. התוכנית מוגנת מפני בקשה לחלוקה באפס.

מימוש החלוקה נעשה ע"י פקודת המכונה IDIV, ואפשר לראות מהריצרת שמבחינתה של פקודת המכונה הזו היא ששארית החלוקה של 105 ב- 44- הרא 17, שארית החלוקה של 105- ב- 44 הוא 17- ושארית החלוקה של 105- ב- 44- הוא 17-. מתכנת הכותב תוכנית המחשבת שארית חלוקה של מספרים שעשויים להיות שליליים חייב לבדוק אם המוסכמות הללו מקובלים עליו.

קימפול תכנית המשלבת קבצי מקור ב-C ואסמבלי ניתן לעשות על ידי תוכנת tcc.exe (בתנאי שיש לך גם את tasm.exe) או bcc.exe . עקרונית כותבים את רשימת הקבצים שממנה מורכבת התוכנית כאשר התוכנית הראשית חייבת להיות ראשונה. במקרה שלנו, קימפול התוכנית המורכבת מהקבצים call_idl.c ו-idiv_mo4.asm יהיה:

```
tcc call_idl.c idiv_mo4.asm
```

תוצאת הקימפול של השורה הזו (בתנאי שאין שגיאות) תהיה לפי השם של הקובץ הראשון, כלומר יווצר call_idl.exe.

אם רוצים להכין את הקובץ לדיבוג ב-Turbu Debugger אזי פשוט מוסיפים את האופציה "v-" כלומר

```
tcc -v call_idl.c idiv_mo4.asm
```

ההבדל בין שתי הקבצים הללו שב-idiv_mo5.asm אני משתמש באוגרים SI ו-DI, לכן אני חייב לשמר אותם בקובץ הזה ולשחזר אותם לפני החזרה, מה שאין צורך ב-idiv_mo4.asm.

נקודות שיש לשים לב אליהם:

- כל שם המוגדר בתוכניות C או שהתוכנית מתיחסת אליו, באסמבלי חייבים להתיחס אליו עם קו תחתי ("_") מוביל. מהסיבה הזו בקבצי האסמבלי שמה של הרוטינה הנקראית מ-C היא "_idiv_mod".

- _idiv_mod צריכה לחלק מספר 16 ביט במספר 16 ביט, אבל הפקודה IDIV מחלקת 32 ביט (DX:AX) ב-16 ביט. על מנת לבצע את המשימה עלינו "להרחיב" את המספר ב-AX לתוך DX. אילו היה מדובר במספרים חסרי סימן היה מדובר כאן בהצבת 0 ל-DX, אבל במספרים עם סימן צריך להביא בחשבון את הסימן של AX: אם הוא חיובי, צריך להציב 0 ל-DX, ואם הוא שלילי, צריך להציה 1 לכל הביטים של DX. הדבר הוא למעשה הצבת ביט הסימן של AX לכל הביטים של DX. יש פקודת מכונה שעושה בשבילנו בדיוק את זה: CWD. גרסאות דומות של הפקודה הזו:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| CBW | הרחב את | AL | ל- | AX |
| CWD | הרחב את | AX | ל- | DX:AX |
| CWDE | הרחב את | AX | ל- | EAX |
| CWQ | הרחב את | EAX | ל- | EDX:EAX |

- שימו לב למבנה:

```
     MOV AX,0
     JMP Done

      ....

     MOV AX,1
Done:
      .....
     POP BP
     RET
```

המבנה הזה מבטיח שעם החזרה לקוד הקורא AX מכיל את הערך הנכון של תוצאת הפונקציה.

```
/* call_id1.c - call assembler subroutine idiv_mod.asm from C program */

#include <stdio.h>

 extern  int idiv_mod(int Num, int Denom,  int *Q,  int *Rem);

 void main()
    {
      int Num, Denom, Q, Rem, No_Zero_Divide;

      printf("\Enter Numerator, Denominator\n:");
      scanf("%d %d",&Num, &Denom);
      No_Zero_Divide = idiv_mod(Num,Denom,&Q,&Rem);
      if  (No_Zero_Divide)
          printf("\n %d div %d = %d, mod(%d,%d) = %d\n",
                   Num, Denom, Q, Num, Denom, Rem);
      else
         printf("\nError: Zero Divide.\n");

    } /* main */
```

---

```
E:\>tcc call_id1.c idiv_mo4.asm
Turbo C++ Version 3.00 Copyright (c) 1992 Borland International
call_id1.c:
idiv_mo4.asm:
Turbo Assembler  Version 3.1  Copyright (c) 1988, 1992 Borland International

Assembling file:   idiv_mo4.ASM
Error messages:    None
Warning messages:  None
Passes:            1
Remaining memory:  395k

Turbo Link  Version 5.0 Copyright (c) 1992 Borland International

        Available memory 4111504

E:\>call_id1.exe
Enter Numerator, Denominator
:105 44

 105 div 44 = 2, mod(105,44) = 17

E:\>call_id1.exe
Enter Numerator, Denominator
:105 -44

 105 div -44 = -2, mod(105,-44) = 17

E:\>call_id1.exe
Enter Numerator, Denominator
:-105 44

 -105 div 44 = -2, mod(-105,44) = -17

E:\>call_id1.exe
Enter Numerator, Denominator
:-105 -44

 -105 div -44 = 2, mod(-105,-44) = -17

E:\>
```

```
;  idiv_mo4.asm - Assembler implementation of
;                          C-callable function idiv_mod.
;
     .MODEL SMALL
     .CODE
     ;  Implementation of C callable function ...
     ;     ...  int idiv_mod(int Num, int Denom,  int *Q,  int *Rem)
     ;                          [BP+4]    [BP+6]     [BP+8]    [BP+10]
     ;  Compute Q := |_ Num / Denom _|  ,Rem := MOD(Num, Denom)
     ;  function  idiv_mod  returns 0 if Denom = 0 (illegal ..
     ;  ... division by zero), 1 otherwise
     ;
      PUBLIC _idiv_mod
_idiv_mod  PROC NEAR
      PUSH BP          ; Preserve BP
      MOV BP,SP        ; Set BP to point to Parameter area
      MOV CX,[BP+6]    ; CX := Denom
      CMP CX,0       ; Denom = 0 ?
      JNE Cont         ; No, continue regular operation
            ; Yes, Denom = 0
          MOV AX,0     ; Return value := 0
          JMP Done              ; Skip following code
Cont:       ; Denom <> 0
      MOV AX,[BP+4]          ; AX := Num
      CWD                    ; DX:AX := AX
      IDIV CX                ; AX := DX:AX / CX,  DX := MOD(AX,CX)
      MOV  BX,[BP+8]         ; BX := Offset Q
      MOV  [BX],AX           ; *Q := AX
      MOV  BX,[BP+10]        ; BX := Offset Rem
      MOV  [BX],DX           ; *Rem := DX
      MOV  AX,1    ; Ensure return value := 1
Done:
      POP  BP                ; Restore BP register
      RET
_idiv_mod  ENDP
      END
```

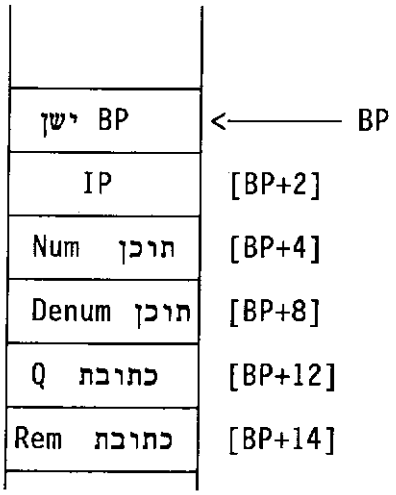
```
;  idiv_mo5.asm - Assembler implementation of
;                          C-callable function idiv_mod.
;
     .MODEL SMALL
     .CODE
     ;  Implementation of C callable function ...
     ;     ...  int idiv_mod(int Num, int Denom,  int *Q,  int *Rem)
     ;                          [BP+4]    [BP+6]     [BP+8]    [BP+10]
     ;   Compute Q := |_ Num / Denom _|  ,Rem := MOD(Num, Denom)
     ;   function  idiv_mod  returns 0 if Denom = 0 (illegal ..
     ;   ... division by zero), 1 otherwise
     ;
      PUBLIC _idiv_mod
_idiv_mod  PROC NEAR
     PUSH BP          ; Preserve BP
     MOV BP,SP        ; Set BP to point to Parameter area
     PUSH SI          ; Preserve register variables
     PUSH DI          ;
;
     MOV SI,[BP+6]   ; SI := Denom
     CMP SI,0       ; Denom = 0 ?
     JNE Cont         ; No, continue regular operation
          ; Yes, Denom = 0
          MOV AX,0     ; Return value := 0
          JMP Done              ; Skip following code
Cont:       ; Denom <> 0
     MOV AX,[BP+4]          ; AX := Num
     CWD                    ; DX:AX := AX
     IDIV SI                ; AX := DX:AX / SI,  DX := MOD(AX,SI)
     MOV  DI,[BP+8]         ; DI := Offset Q
     MOV  [DI],AX           ; *Q := AX
     MOV  DI,[BP+10]        ; DI := Offset Rem
     MOV  [DI],DX           ; *Rem := DX
     MOV  AX,1    ; Ensure return value := 1
Done:
;
     POP DI     ; Restore register variables
     POP SI     ;
     POP  BP                ; Restore BP register
     RET
_idiv_mod  ENDP
     END
```

## תוכניות דוגמא call_id2.c, idiv_mo6.asm

בתוכנית המשולבת call_id1.c, idiv_mo1.asm כל הפרמטרים היו 2 בתים כי זה הגודל של הן int וכן פוינטרים בהקשר הזה של קומפילציה של טורבו C. נראה שזה לא תמיד כך בהמשך הקורס. כאשר מחשבים את המיקום של פרמטרים צריך תמיד להביא בחשבון את גודל הפרמטרים, שכמובן לא יהיו תמיד 2 בתים. זה יקרה למשל אם היינו עובדים עם פרמטרים long int במקום int. זה מה שקורה בדוגמא הבאה, התוכנית המשולבת call_id2.c, idiv_mo6.asm. ההגדרה של idiv_mod32 הינה:

```
extern  int idiv_mod32(long int Num, long int Denom,
   long int *Q,  long int *Rem);
```

מאחר ו-Num ו-Denom הם עכשיו 32 ביט, תמונת המחסנית היא עכשיו כזו:




בנוסף לכך שמבנה הפרמטרים במחסנית משתנה, ה-idiv_mod32 צריכה לבצע אריטטיקה של 32 ביט.

```
/* call_id2.c - call assembler subroutine idiv_mod32.asm from C program */

#include <stdio.h>

 extern  int idiv_mod32(long int Num, long int Denom,
                  long int *Q, long int *Rem);

 void  main()
    {
      long int Num, Denom, Q, Rem;
      int  No_Zero_Divide;

      printf("\Enter Numerator, Denominator\n:");
      scanf("%ld %ld",&Num, &Denom);
      No_Zero_Divide = idiv_mod32(Num,Denom,&Q,&Rem);
      if  (No_Zero_Divide)
          printf("\n %ld div %ld = %ld, mod(%ld,%ld) = %ld\n",
                   Num, Denom, Q, Num, Denom, Rem);
      else
         printf("\nError: Zero Divide.\n");

    } /* main */
```

---

```
E:\>tcc call_id2.c idiv_mo6.asm
Turbo C++ Version 3.00 Copyright (c) 1992 Borland International
call_id2.c:
idiv_mo6.asm:
Turbo Assembler  Version 3.1  Copyright (c) 1988, 1992 Borland
International

Assembling file:    idiv_mo6.ASM
Error messages:     None
Warning messages:   None
Passes:             1
Remaining memory:   431k

Turbo Link  Version 5.0 Copyright (c) 1992 Borland International

        Available memory 4150128

E:\>CALL_ID2.EXE
Enter Numerator, Denominator
:-700000 66666

 -700000 div 66666 = -10, mod(-700000,66666) = -33340

E:\>
```

```
;   idiv_mo6.asm - Assembler implementation of
;                          C-callable function idiv_mod32.
;
     .MODEL SMALL
     .CODE
     .386
     ; Implementation of C callable function ...
     ;     ...  int idiv_mod32(long int Num, long int Denom,
     ;                           [BP+4]          [BP+8]
     ;   long int *Q,     long int *Rem)
     ;       [BP+12]     [BP+14]
     ;   Compute Q := |_ Num / Denom _|   ,Rem := MOD(Num, Denom)
     ;   function  idiv_mod32  returns 0 if Denom = 0 (illegal ..
     ;   ... division by zero), 1 otherwise
     ;
      PUBLIC _idiv_mod32
_idiv_mod32  PROC NEAR
      PUSH BP          ; Preserve BP
      MOV BP,SP        ; Set BP to point to Parameter area
      PUSH SI          ; Preserve register variables
      PUSH DI          ;
;
      MOV ESI,[BP+8]   ; ESI := Denom
      CMP ESI,0      ; Denom = 0 ?
      JNE Cont         ; No, continue regular operation
            ; Yes, Denom = 0
          MOV AX,0     ; Return value := 0
          JMP Done              ; Skip following code
Cont:       ; Denom <> 0
      MOV EAX,[BP+4]         ; EAX := Num
      CDQ                   ; EDX:EAX := EAX
      IDIV ESI               ; EAX := EDX:EAX / ESI,  EDX := MOD(EAX,ESI)
      MOV  DI,[BP+12]        ; DI := Offset Q
      MOV  [DI],EAX          ; *Q := AX
      MOV  DI,[BP+14]       ; DI := Offset Rem
      MOV  [DI],EDX          ; *Rem := DX
      MOV  AX,1    ; Ensure return value := 1
Done:
;
      POP DI     ; Restore register variables
      POP SI     ;
      POP  BP               ; Restore BP register
      RET
_idiv_mod32  ENDP
      END
```

## סכמת ניהול משתנים של TURBO C

ראינו את צורת מימוש הפרמטרים ב-C, כאן נשלים את התמונה בכל הקשור למימוש משתנים. אנחנו נמשיך להתרכז במודל SMALL, אבל התמונה אינה שונה באופן מהותי במודלים האחרים.

יש עוד שני סוגים עיקריים של משתנים מלבד פרמטרים: משתנים סטטיים ואוטומטיים. ב-C משתנים גלובליים מממומשים באותה צורה כמו משתנים אוטומטיים וסטטיים בהתאם להכרזה על המשתנה, ועל משתני אוגר נדבר בהמשך.

כאשר מלמדים את שפות העילית בדרך כלל נותנים את התאור הבא:

"משתנים אוטומטיים של פונקציה הם משתנים שמקבלים הקצאה עם הקריאה לפונקציה ומשתחררים עם החזרה ממנה. במידה והמשתנה הוא משתנה לוקלי מאותחל, האתחול מתבצע בכל פעם מחדש.

משתנים סטטיים הם משתנים שמוקצים פעם אחת לכל אורך התוכנית והם קיימים לכל זמן הריצה של כל התוכנית, גם אם מדובר במשתנה לוקלי (להבדיל מגלובלי). יחד עם זאת, עבור משתנה סטטי לוקלי, רק הפונקציה שהגדירה את המשתנה יכולה לגשת אליו לפי השם שלו."

המשתנים שהגדרנו עד עכשיו תחת ה- DATA. הם משתנים סטטיים. במידה והמשתנים מאותחלים האתחול מתבצע עם העתקת קובץ ה-EXE מהדיסק לזכרון. לפיכך כאשר אנחנו מגדירים בתוכנית

```
.DATA
Var1   DW  3201
```

אזי המילה Var1 הוא במושגים של C משתנה סטטי. הערך 3201 מופיע איפוא שהוא בקובץ ה-EXE. הערך 3201 מועתק לזכרון עם העלאת התוכנית לזכרון. זה יהיה האתחול היחיד של המשתנה Var1. כל הצבה לתוך Var1 לא יתבטל אלא ע"י הצבה אחרת.

אשר למשתנים האוטומטיים, הם מיושמים במחסנית בצורה דומה מאד לפרמטרים. כל פונקצית TURBO C במודל SMALL מישמת את הסכמה שתתואר להלן. בשלב זה נניח שהקומפילר מיצר קוד שאינו משתמש במשתני אוגר (למשל -r- tcc). נתאר את ההשלכות של ישום משתני אוגר מאוחר יותר.

מימוש הסכמה היא כלהלן:

הפקודות הראשונות שמבצעת כל פונקציה של C הם:

```
_myfunc PROC NEAR
push bp    "ישן"  bp  שימור
mov  bp,sp  "ישן"  bp  מצביע על  bp
sub  sp,k   הקצאת שטח משתנים לוקליים
            k הוא גודל שטח המשתנים הלוקליים
```

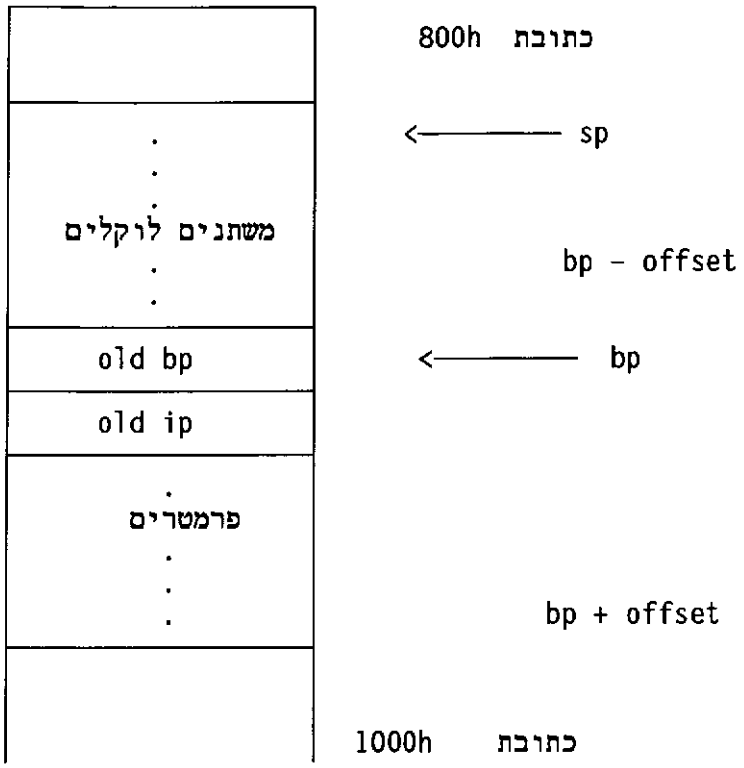
מרגע זה המשתנים הלוקליים קיימים וניתן לגשת אליהם באמצעות bp עם תוספת שלילית. במידה ויש פקודת אתחול למשתנים האוטומטיים הם יופיעו כאן. לדוגמא, אתחול משתנה לוקלי - אוטמטי בגודל 16 ביט ב-7 עשוי להראות כמו

```
mov  word ptr [bp-6],7
```

כאשר הפונקציה רוצה <u>לחזור</u> (תמיד בסוף הפונקציה) לתוכנית הקוראת הוא מבצעת את סדרת הפקודות הבאה:

```
   mov sp,bp  שחרור שטח משתנים לוקליים
   pop bp     bp שחזור
   ret        חזרה לתוכנית קוראת
_myfunc endp
```

לפיכך סכמת המשתנים של פונקצית C במודל SMALL נראית באופן כללי כך:



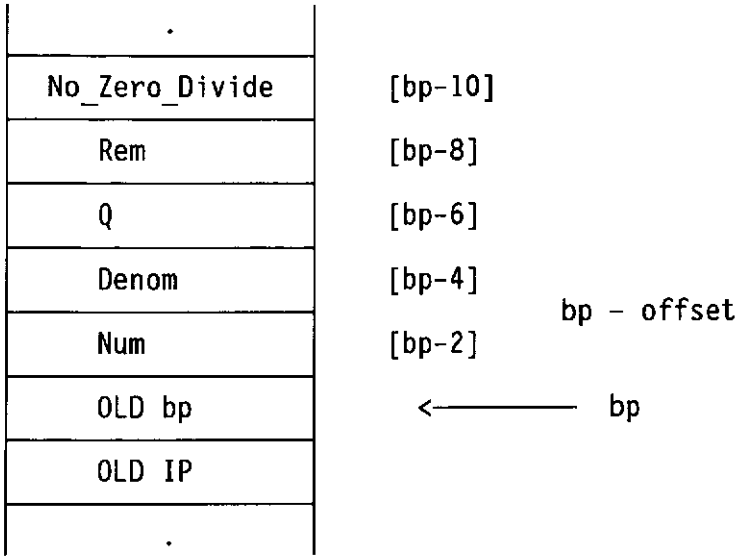

לדוגמא, בתוכנית call_idl.c, הפונקציה main (שלצורך ניהול משתנים היא כמו כל פונקציה אחרת) המשתנים הלוקליים מוגדרים בשורה

```
int Num, Denom, Q, Rem, No_Zero_Divide;
```

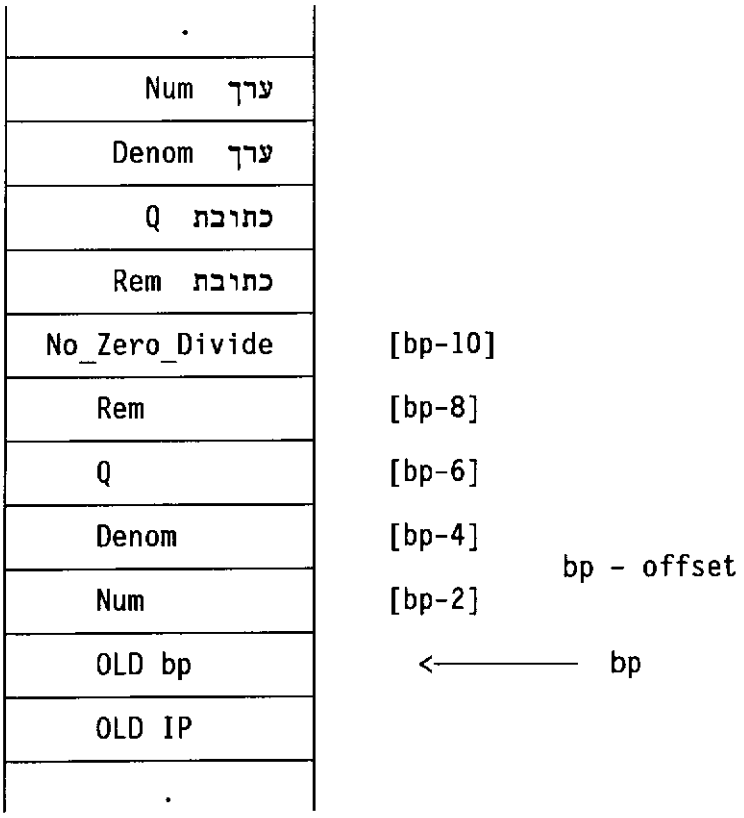
המתרגם ל-

```
sub sp,10
```

כאשר בפועל




לפיכך אם נסתכל על המחסנית ברגע ההסתעפות לרוטינה _idiv_mod, כלומר לאחר שמירת הפרמטרים במחסנית, לפני ביצוע הפקודה call near ptr _idiv_mod, המחסנית נראית כך:




כאן אנחנו רואים צד נוסף במימוש המושג by value parameters של C:
הפרמטרים הם למעשה שטח מיוחד (במחסנית) המוקצה לרוטינה המכילים עותקים וכתובות של המשתנים של הרוטינה המקורית. הכנסת שינוי ישירות בתוכנם אינו משנה את ערכי המשתנים של התוכנית הקוראת, הללו נמצאים בעומק רב יותר במחסנית (בכתובות גבוהות יותר). לשון אחר: הכנסת שינוי במה שמצוין לעיל

כ-"ערך Num" לא יגרום לשום שינוי בשטח הזכרון המצוין לעיל "Num".

## משתני אוגר

ב-C ישנו מושג של משתני אוגר. משתני אוגר הם מצב שבו חלק מהמשתנים האוטומטיים הנוכחיים מיושמים לא בזכרון אלא באוגרים. ב- TURBO C הדבר בא לידי ביטוי רק במימוש 2 משתנים מסוג int או פוינטרים ע"י האוגרים si ו-di בלבד. צריך לזכור שמדובר בקומפילר מעידן ה-8086. במידה ותכנת ה-C ציין איזה משתנים הוא מעונין שימומשו כמשתני אוגר ע"י המילה השמורה register, הם ימומשו כמשתני אוגר (במידה והדבר אפשרי). אחרת, שני המשתנים הראשונים שמתאימים (int או פוינטר) ימומשו כמשתני אוגר.

ההבדלים בסכמה יהיו שלא כל המשתנים יוקצו ע"י פקודת ה-SUB ולסכמה יתווספו פקודות שימור / שיחזור אוגרי ה- si וה- di. לפיכך הסכמה תיראה כך:

הפקודות הראשונות שמבצעת כל פונקציה של C הם:

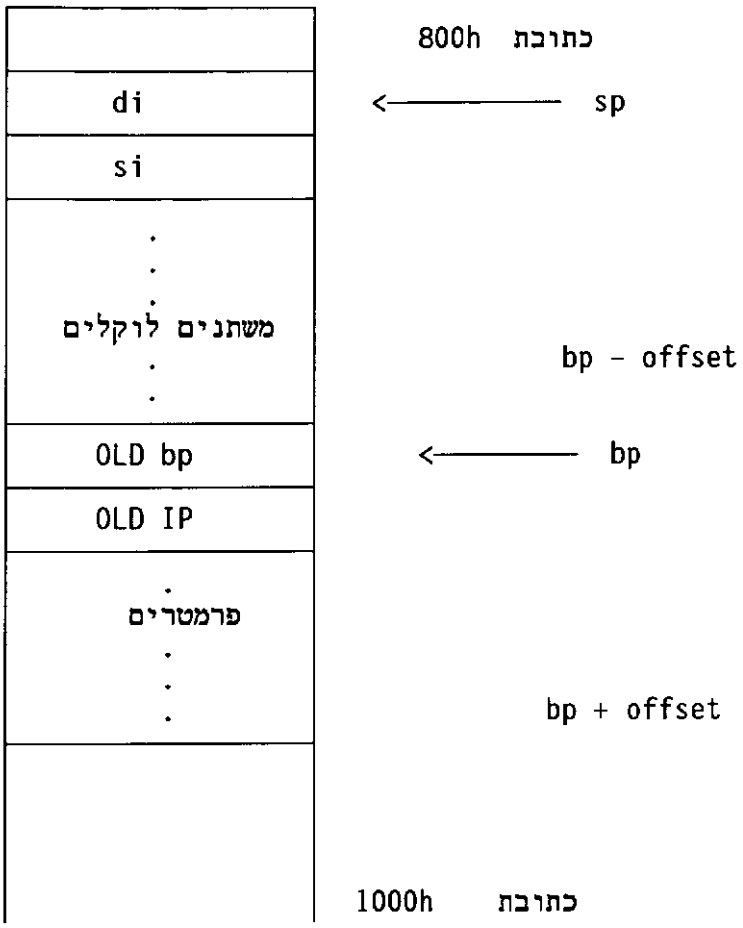
```
_myfunc PROC NEAR
  push bp     "ישן"  bp  שימור
  mov  bp,sp  "ישן"  bp  מצביע על  bp
  sub  sp,k   הקצאת שטח משתנים לוקליים
              k הוא גודל שטח המשתנים הלוקליים
                        לא כולל משתני אוגר
  push si
  push di
```

כאשר הפונקציה רוצה לחזור לתוכנית הקוראת היא מבצעת את סדרת הפקודות הבאה:

```
   pop di       שיחזור אוגרים
   pop si

   mov sp,bp  שחרור שטח משתנים לוקליים
   pop bp     שחזור bp
   ret        חזרה לתוכנית קוראת
  _myfunc endp
```

לפיכך סכמת המשתנים של פונקצית C במודל SMALL נראית באופן כללי כך:




<u>מימוש המשתנים אוטומטיים בתוכיות אסמבלי</u>

אין שום מניעה, כמובן, לממש משתנים במשתנים אוטומטיים גם בתוכניות הנכתבות (ישירות) באסמבלי. אולם זה מפחית את הקריאות של התוכניות ובאופן כללי, לרוב זה פשוט לא טבעי ולא נוח לתכנת כך. בדרך כלל נעשה זאת רק כאשר יש בכך חסכון משמעותי, כמו מימוש מערכים זמניים.

## קומפילציה tcc -S ותוכנית הדוגמא call_idl.asm

call_idl.asm הינו קובץ האסמבלי שמתקבל מקימפול התוכנית call_idl.c ע"י האופציות

```
tcc -S -r- call_idl.c
```

כאשר האופציה S- מנחה את הקומפילר לתרגם את התוכנית לקובץ אסמבלי (call_idl.asm) במקום לקבצי obj ו-exe שהקומפילר בדרך כלל מיצר. האופציה r- מנחה את הקומפילר לא להשתמש במשתני אוגר. האופציה הזו נבחרה בשביל להקל על הבנת התוכנית.

חלקי התוכן של call_idl.asm החשובים לנו נסקרו קודם לכן תחת הכותרת "סכמת ניהול המשתנים של TURBO C".

האופציה S- נתמכת ברוב הקומפילרים של C. יש לו מספר שימושים חשובים. תוכניתן אסמבלי שיש לו משימה מורכבת יכול בהחלט להסתיע בידיעת איך הקומפילר ממש אותו. בנוסף, תוכניתן בשפה C המפתח תוכנה שבו הוא מכיר את שפת האסמבלי יכול ע"י עיון בקובץ האסמבלי הנוצר לאחר בעיות הכרוכות בקימפול שונה מהצפוי של תוכנית המקור. זה יכול להוביל לאיתור שגיעות הנובעות מפרשנות שונה מהצפוי של הקוד ע"י הקומפילר או איתור סיבות לאיטיות של קוד איטי מהצפוי בקובץ ה-exe. אפשר אפילו "לשפר" את ה-exe הנוצר ע"י הכנסת שינויים בקובץ ה-asm והכללותו בקימפול במקום קובץ המקור ב-C.

call_id1.asm

tcc -S -r- call_id1.c

```
        ifndef  ??version
?debug  macro
        endm
$comm   macro   name,dist,size,count
        comm    dist name:BYTE:count*size
        endm
        else
$comm   macro   name,dist,size,count
        comm    dist name[size]:BYTE:count
        endm
        endif
        ?debug  S "call_id1.c"
        ?debug  C E9857A13270A63616C6C5F6964312E63
        ?debug  C E90018521815433A5C54435C494E434C5544455C737464696F2E68
        ?debug  C E90018521815433A5C54435C494E434C5544455C5F646566732E68
        ?debug  C E90018521815433A5C54435C494E434C5544455C5F6E756C6C2E68
_TEXT   segment byte public 'CODE'
_TEXT   ends
DGROUP  group   _DATA,_BSS
        assume  cs:_TEXT,ds:DGROUP
_DATA   segment word public 'DATA'
d@      label   byte
d@w     label   word
_DATA   ends
_BSS    segment word public 'BSS'
b@      label   byte
b@w     label   word
_BSS    ends
_TEXT   segment byte public 'CODE'
   ;
   ;     void main()
   ;
        assume  cs:_TEXT
_main   proc    near
        push    bp
        mov     bp,sp
        sub     sp,10
   ;
   ;        {
   ;          int Num, Denom, Q, Rem, No_Zero_Divide;
   ;
   ;          printf("\Enter Numerator, Denominator\n:");
   ;
        mov     ax,offset DGROUP:s@
        push    ax
        call    near ptr _printf
        pop     cx
```

```
;
;           scanf("%d %d",&Num, &Denom);
;
        lea     ax,word ptr [bp-4]
        push    ax
        lea     ax,word ptr [bp-2]
        push    ax
        mov     ax,offset DGROUP:s@+31
        push    ax
        call    near ptr _scanf
        add     sp,6
;
;           No_Zero_Divide = idiv_mod(Num,Denom,&Q,&Rem);
;
        lea     ax,word ptr [bp-8]
        push    ax
        lea     ax,word ptr [bp-6]
        push    ax
        push    word ptr [bp-4]
        push    word ptr [bp-2]
        call    near ptr _idiv_mod
        add     sp,8
        mov     word ptr [bp-10],ax
;
;           if  (No_Zero_Divide)
;
        cmp     word ptr [bp-10],0
        je      short @1@86
;
;             printf("\n %d div %d = %d, mod(%d,%d) = %d\n",
;
;
;                       Num, Denom, Q, Num, Denom, Rem);
;
        push    word ptr [bp-8]
        push    word ptr [bp-4]
        push    word ptr [bp-2]
        push    word ptr [bp-6]
        push    word ptr [bp-4]
        push    word ptr [bp-2]
        mov     ax,offset DGROUP:s@+37
        push    ax
        call    near ptr _printf
        add     sp,14
        jmp     short @1@114
```

```
@1@86:
    ;
    ;           else
    ;              printf("\nError: Zero Divide.\n");
    ;
            mov     ax,offset DGROUP:s@+72
            push    ax
            call    near ptr _printf
            pop     cx
@1@114:
    ;
    ;         } /* main */
    ;
            mov     sp,bp
            pop     bp
            ret
_main       endp
            ?debug  C E9
_TEXT       ends
_DATA       segment word public 'DATA'
s@          label   byte
            db      'Enter Numerator, Denominator'
            db      10
            db      ':'
            db      0
            db      '%d %d'
            db      0
            db      10
            db      ' %d div %d = %d, mod(%d,%d) = %d'
            db      10
            db      0
            db      10
            db      'Error: Zero Divide.'
            db      10
            db      0
_DATA       ends
_TEXT       segment byte public 'CODE'
_TEXT       ends
            public  _main
            extrn   _idiv_mod:near
            extrn   _scanf:near
            extrn   _printf:near
_s@         equ     s@
            end
```

## רקורסיה ותוכנית הדוגמא fibo4.asm

fibo4.asm הינו קובץ האסמבלי שמתקבל מקימפול התוכנית fibo4.c ע"י האופציות

```
tcc -S -r- fibo4.c
```

כאשר האופציה S- מנחה את הקומפילר לתרגם את התוכנית לקובץ אסמבלי (fibo4.asm) במקום לקבצי obj ו-exe שהקומפילר בדרך כלל מיצר. האופציה r- מנחה את הקומפילר לא להשתמש במשתני אוגר. האופציה הזו נבחרה בשביל להקל על הבנת התוכנית.

תפקידה של הדוגמא למחיש את מימוש מושג הרקורסיה ברמת הקומפילציה.

החשיבות של הנושא הזה בפרק זה הוא להמחיש שכאשר ממשים משתנים / פרמטרים וכתובות חזרה דרך המחסנית כפי ש-Turbo C ורוב הקומפילרים של C עושים, מימוש קוד רקורסיבי הוא אופציה המתקבלת בחינם או שהצורך של התחשבות נוספת במימוש קוד רקורסיבי מינימלי ביותר. אם נעיין במימוש של הקוד שנפרש על מנת לממש את הקריאה

```
fibo(n-2)
```

המימוש שלו באסמבלי יהיה

```
mov ax,word ptr [bp+4]
sub ax,2
push ax
call near ptr _fibo
```

לפיכך הקריאה הרקורסיבית אינה שונה במאומה מקריאה לפונקציה חיצונית. יש הבדל לוגי בכך שההסתעפות היא לראשות הפונקציה עצמה ולא לכתובת שמחוץ לרוטינה אבל זה לא בא לידי ביטוי בטקסט של הקוד שנוצר. לשון אחר: מתכנת שהיה צריך לממש את הרקורסיה ידנית באסמבלי לא צריך לדעת יותר מהמוסכמות הרגילות של מימוש פונקציות ב-C.

העובדה שמימוש רקורסיה מתקבלת כתוספת חינם למוסכמות מימוש פונקציות ב-C לא היה, כנראה, הסיבה העיקרית להגדרת בצורתן מבוססת המחסנית. סביר להניח שהמניע העיקרי היה לקבל אפקט זהה (או כמעט זהה, תלוי בהשקפה) של הרצת קוד במקביל במימוש מושג התהליכים, נושא מתקדם שלא נכנס לו כאן. למעשה מושג "מחסנית מערכת" הקיימת בכל הארכיטקטורות של מחשבים מודרניים הומצאה על מנת לקבל את האפקט הזה, הנקרא Re-entrancy. אנחנו נומר שהסיבה שהאפקט מתקבל היא מאותה סיבה שהמוסכמות משרתות גם מימוש תהליכים.

הסיבה שמוסכמות הללו תומכות ברקורסיה (או ב-Re-entrancy באופן כללי) היא בכך שהם ממשות את מנגנוני המשתנים, הפרמטרים ושימור כתובת הסתעפות עתידיות בתוך שטחי זכרון דינמיים שמשתחררים בסדר של "אחרון נכנס ראשון יוצא".

על מנת לממש קריאה רקורסבית צריך לממש רובד חדש של פרמטרים ומשתנים לוקליים תוך שימור הערכים הקודמים והסתעפות לראשית הרוטיבה תוך שימור כתובת החזרה. על מנת לממש חזרה מרקוסיה צריך לחזור חזרה לפקודה שמעבר לקריאה הרקורסיבית האחרונה (או מעבר לקריאה המקורית) ולשחרר את רובד המשתנים הלוקליים והפרמטרים האחרון תוך שחזור הקודם לו. את כל אלה המוסכמות עושות ממילא מעצמם.

```
/* fibo4.c - implement Fibonacci numbers - naive recursion   */

#include <stdio.h>

unsigned long int fibo(unsigned int n)
{
  unsigned long int x;

  if  ( n <= 2 )
     return 1L;
  else
    x = fibo(n-1) + fibo(n-2);
    return x;
}

 void main()
  {
    unsigned int n;
    printf("Enter an integer:\n");
    scanf("%d",&n);

    printf("Fibonacci(%u) = %lu\n", n, fibo(n));

  }
```

---

```
E:\>fibo4.exe
Enter an integer:
9
Fibonacci(9) = 34

E:\>
```

fib04.asm

tcc -S -r- fib04.c

```
_TEXT   segment byte public 'CODE'
_TEXT   ends
DGROUP  group   _DATA,_BSS
        assume  cs:_TEXT,ds:DGROUP
_DATA   segment word public 'DATA'
d@      label   byte
d@w     label   word
_DATA   ends
_BSS    segment word public 'BSS'
b@      label   byte
b@w     label   word
_BSS    ends
_TEXT   segment byte public 'CODE'
   ;
   ;    unsigned long int fibo(unsigned int n)
   ;
        assume  cs:_TEXT
_fibo   proc    near
        push    bp
        mov     bp,sp
        sub     sp,4
   ;
   ;    {
   ;      unsigned long int x;
   ;
   ;      if  ( n <= 2 )
   ;
        cmp     word ptr [bp+4],2
        ja      short @1@142
   ;
   ;           return 1L;
   ;
        xor     dx,dx
        mov     ax,1
@1@86:
        jmp     short @1@198
        jmp     short @1@170
@1@142:
   ;
   ;      else
   ;        x = fibo(n-1) + fibo(n-2);
   ;
        mov     ax,word ptr [bp+4]
        dec     ax
        push    ax
        call    near ptr _fibo
        pop     cx
        push    ax
        push    dx
        mov     ax,word ptr [bp+4]
        sub     ax,2
        push    ax
        call    near ptr _fibo
        pop     cx
        pop     bx
        pop     cx
        add     cx,ax
        adc     bx,dx
        mov     word ptr [bp-2],bx
        mov     word ptr [bp-4],cx
@1@170:
```

```
    ;
    ;       return x;
    ;
        mov     dx,word ptr [bp-2]
        mov     ax,word ptr [bp-4]
        jmp     short @1@86
@1@198 :
    ;
    ;   }
    ;
        mov     sp,bp
        pop     bp
        ret
_fibo   endp
    ;
    ;    void main()
    ;
        assume  cs:_TEXT
_main   proc    near
        push    bp
        mov     bp,sp
        sub     sp,2
    ;
    ;     {
    ;       unsigned int n;
    ;       printf("Enter an integer:\n");
    ;
        mov     ax,offset DGROUP:s@
        push    ax
        call    near ptr _printf
        pop     cx
    ;
    ;       scanf("%d",&n);
    ;
        lea     ax,word ptr [bp-2]
        push    ax
        mov     ax,offset DGROUP:s@+19
        push    ax
        call    near ptr _scanf
        pop     cx
        pop     cx
    ;
    ;
    ;       printf("Fibonacci(%u) = %lu\n", n, fibo(n));
    ;
        push    word ptr [bp-2]
        call    near ptr _fibo
        pop     cx
        push    dx
        push    ax
        push    word ptr [bp-2]
        mov     ax,offset DGROUP:s@+22
        push    ax
        call    near ptr _printf
        add     sp,8
    ;
    ;
    ;     }
    ;
        mov     sp,bp
        pop     bp
        ret
_main   endp
```

```
        ?debug  C E9
        ?debug  C FA00000000
_TEXT   ends
_DATA   segment word public 'DATA'
s@      label   byte
        db      'Enter an integer:'
        db      10
        db      0
        db      '%d'
        db      0
        db      'Fibonacci(%u) = %lu'
        db      10
        db      0
_DATA   ends
_TEXT   segment byte public 'CODE'
_TEXT   ends
        public  _main
        public  _fibo
        extrn   _scanf:near
        extrn   _printf:near
_s@     equ     s@
        end
```