פרק 9
מחסנית ופרוצדורות
מבוא ונושאים בסיסיים

ברק גונן

תוכנית מודולרית

- תוכנית שבנויה מחלקי קוד נפרדים המשולבים זה בזה
- מאפיינים:
  - נקודת כניסה אחת
  - נקודת יציאה אחת
  - מבצעים פעולה מוגדרת
  - נקראים **פרוצדורות**

יתרונות כתיבת קוד מודולרי

- קוד קצר יותר
  - לא צריך לחזור על חלקי קוד
  - שאלה למחשבה: האם אפשר לחזור על קטעי קוד ע"י פקודת jmp?

```
OpenComputer:
        jmp     ReadPassword
        ...                     ; Code for signing into computer
OpenEmail:
        jmp     ReadPassword
        ...                     ; Code for signing into email
ReadPassword:
        ...                     ; Code for reading password from user
```

יתרונות כתיבת קוד מודולרי - המשך

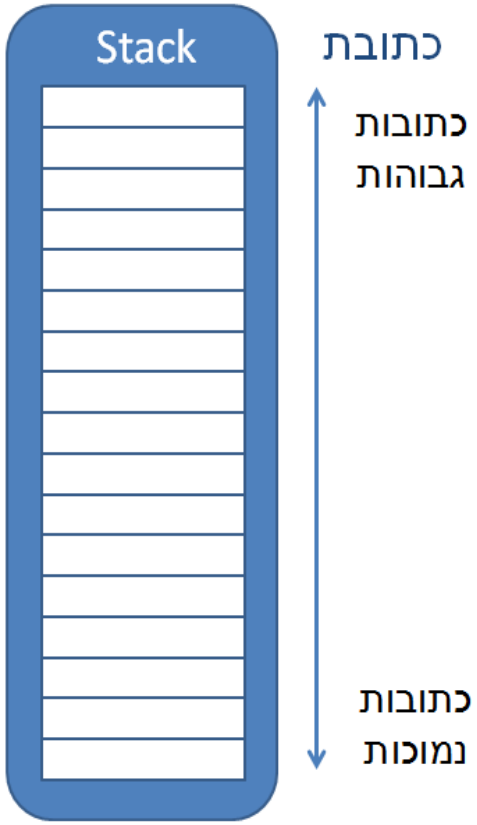
- חלוקת הקוד לחלקים מקלה על מציאה ותיקון באגים
- קוד קצר ופשוט לקריאה:
- Call ReadPassword
- יכולת לשתף קוד
  - בין תוכניות
  - בין מתכנתים

חסרונות קוד מודולרי

- שיתוף קוד הוא פתח לבעיות
  - באגים
  - בעיות אבטחה
- יותר מסובך לכתוב קוד מודולרי
- דורש יותר משאבי מחשב
  - זיכרון
  - פקודות נוספות (כניסה ויציאה מפרוצדורה)

המחסנית Stack

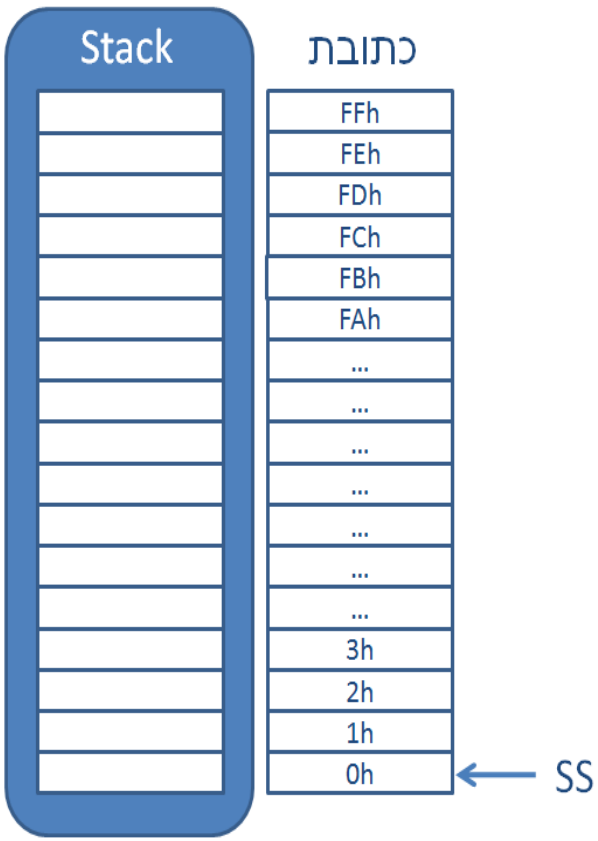
- סגמנט בזיכרון
- משמשת לאחסון לזמן קצר של:
  - משתנים
  - קבועים
  - כתובות
- כלי חשוב בעבודה עם פרוצדורות



הגדרת מחסנית בתוכנית

- stack NumOfBytes
- לדוגמה:
- stack 100h
- בדוגמה, כמה בתים יש במחסנית?

רגיסטרים של המחסנית



- ss – stack segment
  - מצביע על הכתובת הנמוכה ביותר במחסנית
- sp– stack pointer
  - מצביע על האופסט בתוך סגמנט המחסנית
  - בתחילת התוכנית ערכו שווה לגודל המחסנית
- בעזרת הצירוף ss:sp אפשר להגיע לכל כתובת במחסנית

הכנסה והוצאה של נתונים מהמחסנית

- המחסנית עובדת בשיטת Last In First Out -LIFO
  - הערך שנכנס אחרון הוא הראשון לצאת
- לפני הכנסת ערך למחסנית ערכו של sp <u>יורד</u>
- לאחר הוצאת ערך מהמחסנית ערכו של sp <u>עולה</u>
- פקודת push מכניסה ערך למחסנית
- פקודת pop מוציאה ערך מהמחסנית

פקודת push

- הכנסה של ערך למחסנית
- מה יבוצע?
  - ערכו של SP יירד בשתיים: sp=sp-2.
  - ערכו של האופרנד יועתק למחסנית, לכתובת ss:sp.

push operand

פקודת push- המשך

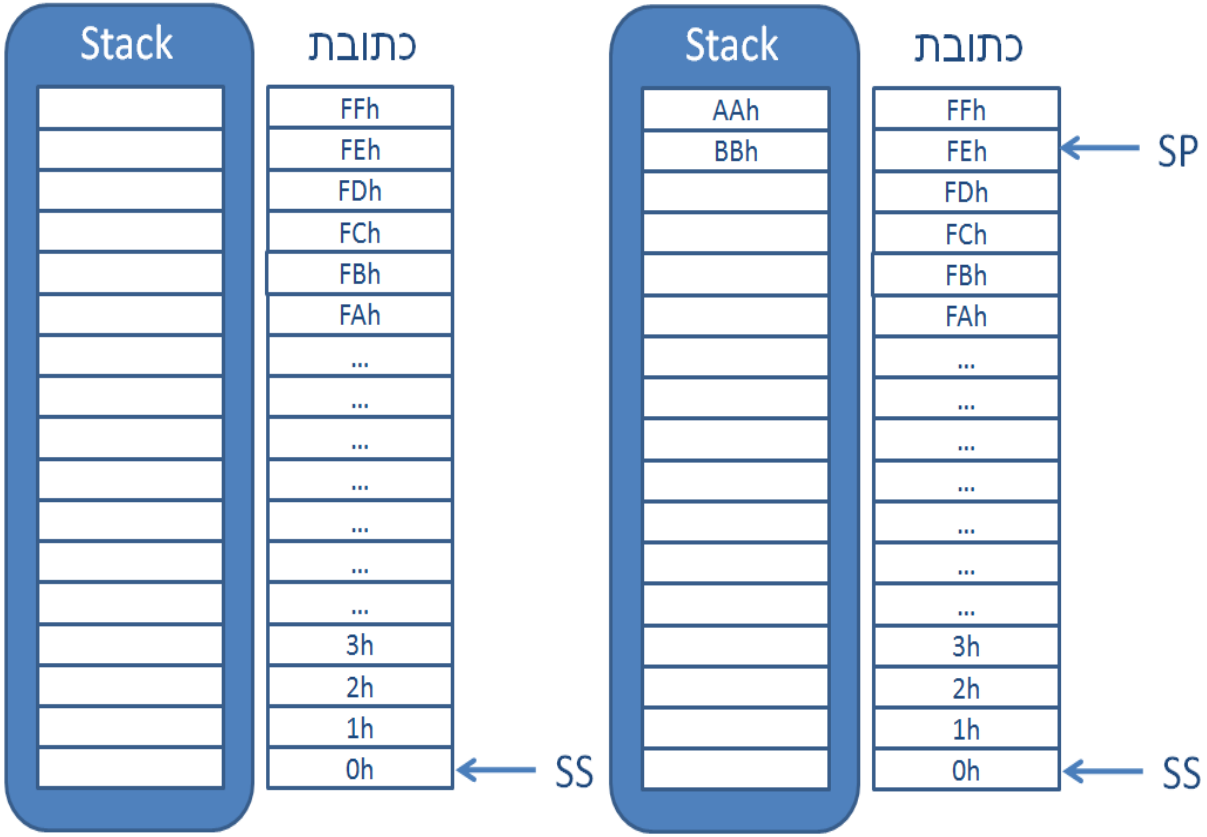
- אפשר לעשות push רק לערכים בגודל word
  - לדוגמה, הפקודה push al אינה חוקית

```
push  5h
push  ax
push  ds
push  var
```

פקודת push- המשך

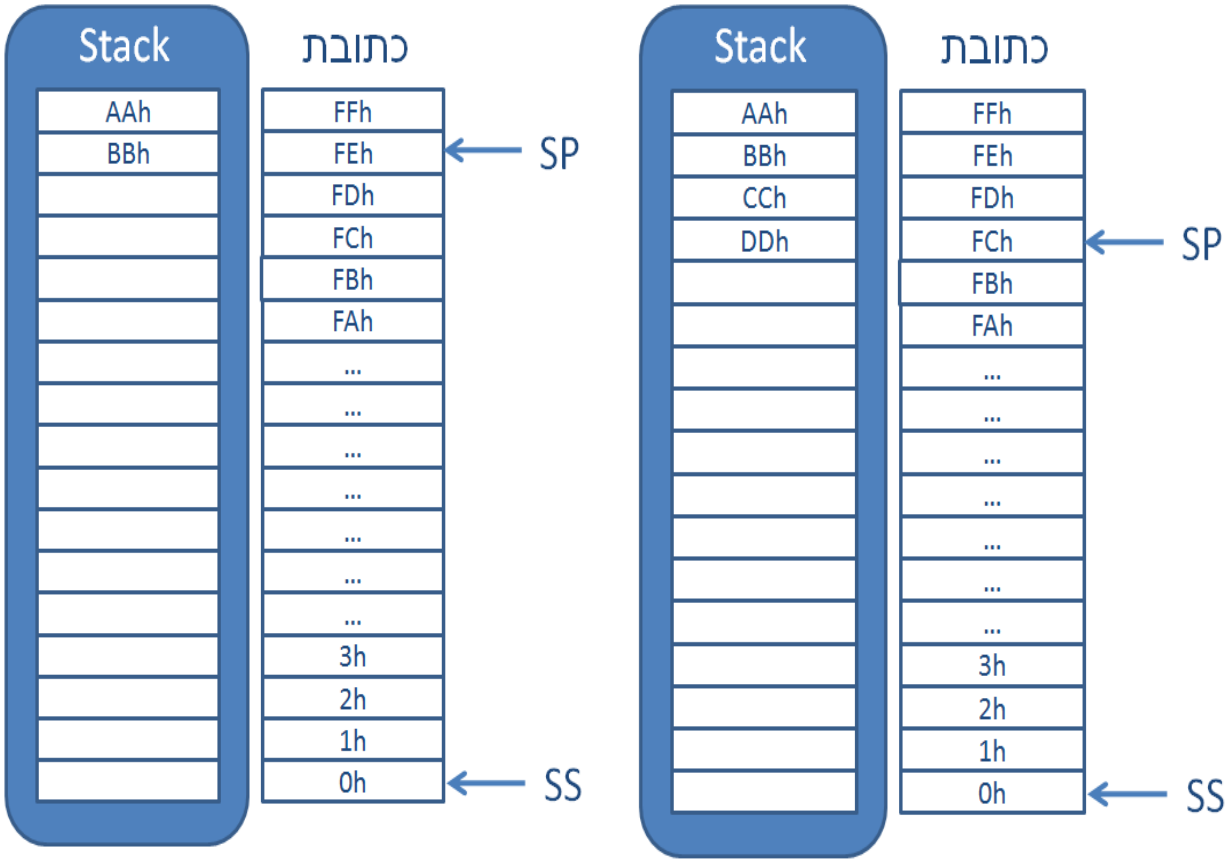
- מה יהיה מצב המחסנית אחרי הפקודות הבאות?

```
mov   ax, 0AABBh
push  ax
```



פקודת push - המשך

push 0CCDDh



פקודת pop

- הפקודה ההפוכה ל-push
- הוצאה של מילה מהמחסנית והעתקה שלה לאופרנד
- מה יבוצע?
  - מילה מראש המחסנית תועתק לאופרנד
  - ערכו של sp יעלה ב-2

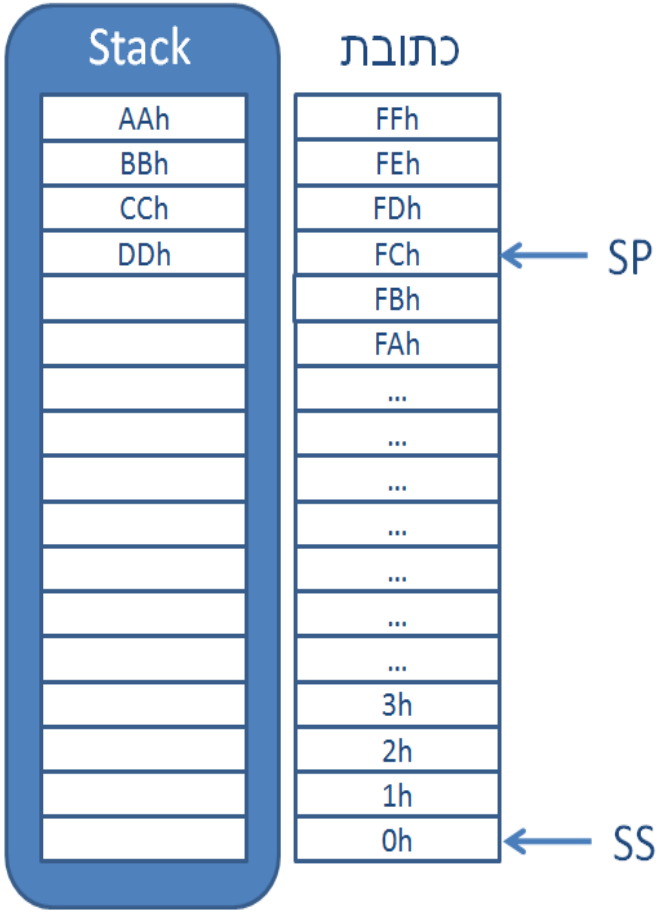
pop operand

פקודת pop- המשך

- האופרנד חייב להיות בגודל מילה
  - pop al ;illegal
- אסור לאופרנד להיות קבוע
  - pop 5h ;illegal

```
pop    ax
pop    cs
pop    var
```

פקודת pop- המשך



- נתונה מחסנית. מה יקרה לאחר הפקודה הבאה?

pop bx

ערכו של bx יהיה 0CCDDh, ערכו של sp יעלה בשתיים ויהיה שווה 0FEh

האם פקודת pop מוחקת את הערכים מהמחסנית?

מחסנית- תרגילים

- הגדירו מחסנית בגדלים שונים. 10h, 20h. ראו כיצד משתנה ערכו של sp עם תחילת ההרצה.
- הכניסו את הערך 1234h לתוך ax. בצעו push של ax. איך השתנה sp? הסתכלו על הזיכרון שבמחסנית ומיצאו את הערך שדחפתם.
- בצעו pop למחסנית לתוך ax. איך השתנה sp? הסתכלו על הזיכרון שבמחסנית- האם הערך 1234h נמחק?
- בצעו push לערך 5678h. האם עכשיו נמחק הערך 1234h?
- העתיקו את ax לתוך bx בעזרת המחסנית ללא שימוש בפקודת mov.

פרוצדורה

- מה הופך "סתם" קטע קוד לפרוצדורה?
  - קוראים לפרוצדורה באמצעות הפקודה call.
  - אפשר להעביר פרמטרים לפרוצדורה.
  - לפרוצדורה יש מנגנונים להחזרת תוצאות העיבוד.
  - פרוצדורה יכולה ליצור משתנים מקומיים (שמשמשים את הפרוצדורה בלבד) ולהיפטר מהם לפני החזרה לתוכנית הראשית.

מבנה של פרוצדורה

- פרוצדורה מוגדרת תמיד:
  - או בתחילת סגמנט הקוד
  - או בסוף סגמנט הקוד
- להלן שלד של פרוצדורה:

```
proc    ProcedureName
        ...         ; Code for something that the procedure does
        ret         ; Return to the code that called the procedure
endp    ProcedureName
```

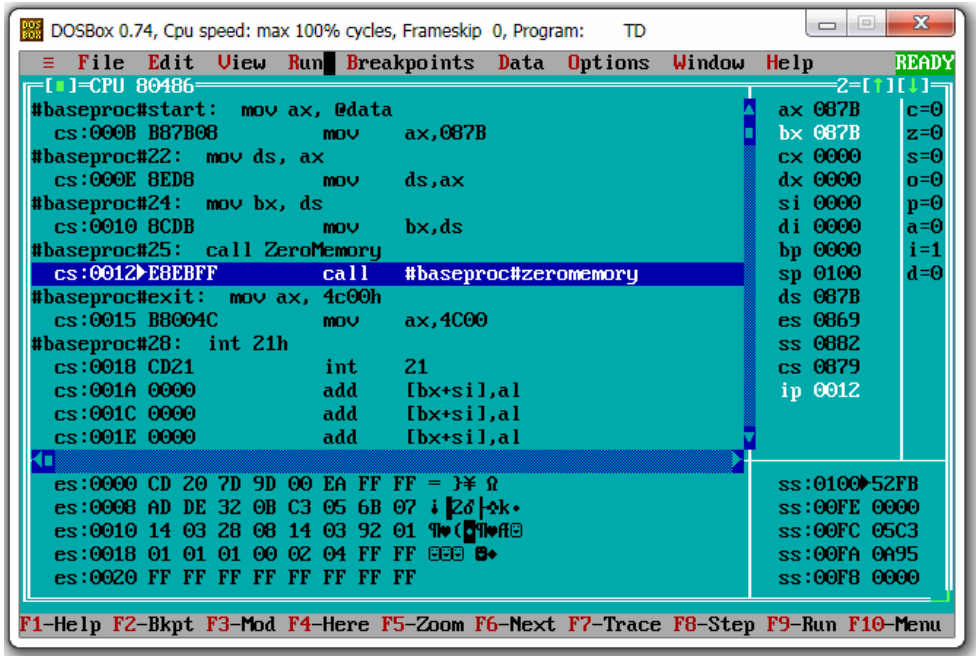
הפרוצדורה "SecretProc"

```
IDEAL
MODEL small
Stack 100h
DATASEG
digit       db 10     dup(1)

CODESEG

proc        SecretProc
            xor       al, al
            mov       cx, 10
SecretLoop:
            mov       [bx], al
            inc       bx
            loop      SecretLoop
            ret
endp        SecretProc
```

- מה מבצעת הפרוצדורה הבאה?
- העתיקו, הריצו וצפו בשינויים בערכו של ip במהלך הריצה
- תרגיל מחקר: מה עושות פקודות call, ret?

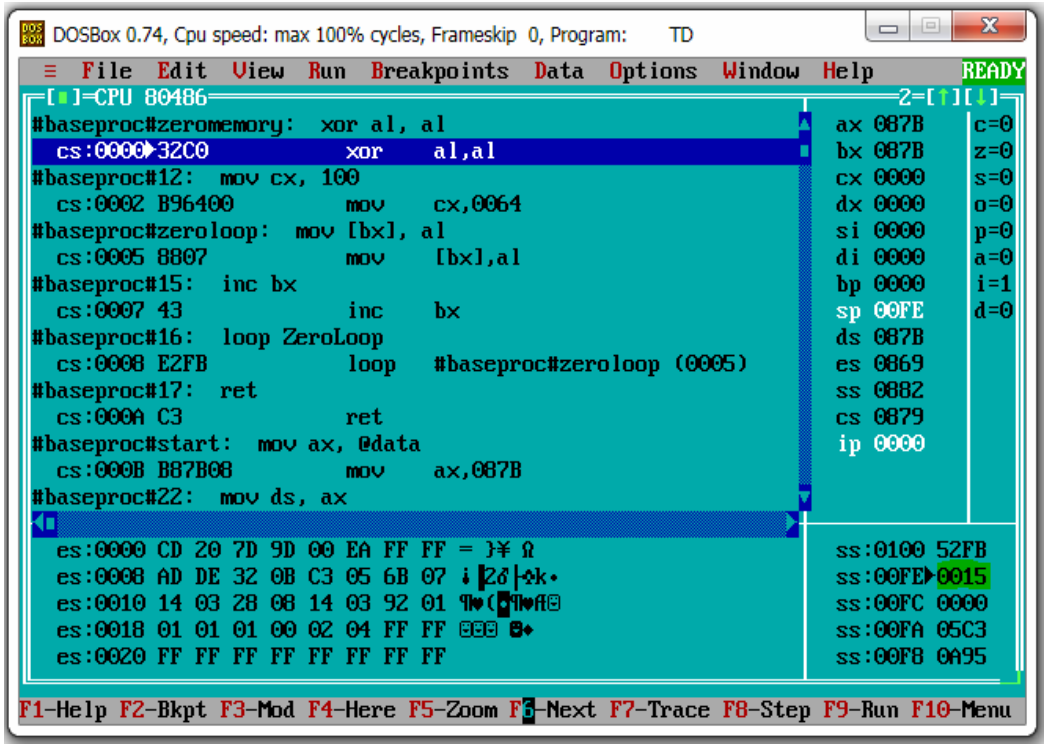
```
start:
            mov       ax, @data
            mov       ds, ax
            mov       bx, offset digit
            call      SecretProc
exit:
            mov       ax, 4C00h
            int       21h
END start
```

פקודת call



- נחקור מה מבצעת פקודת call
- בתוכנית הקודמת, נשנה את שם הפרוצדורה מ-SecretProc ל-ZeroMemory ונבצע קריאה:
  - call ZeroMemory
- לפני הקריאה ip=12h

פקודת call -המשך

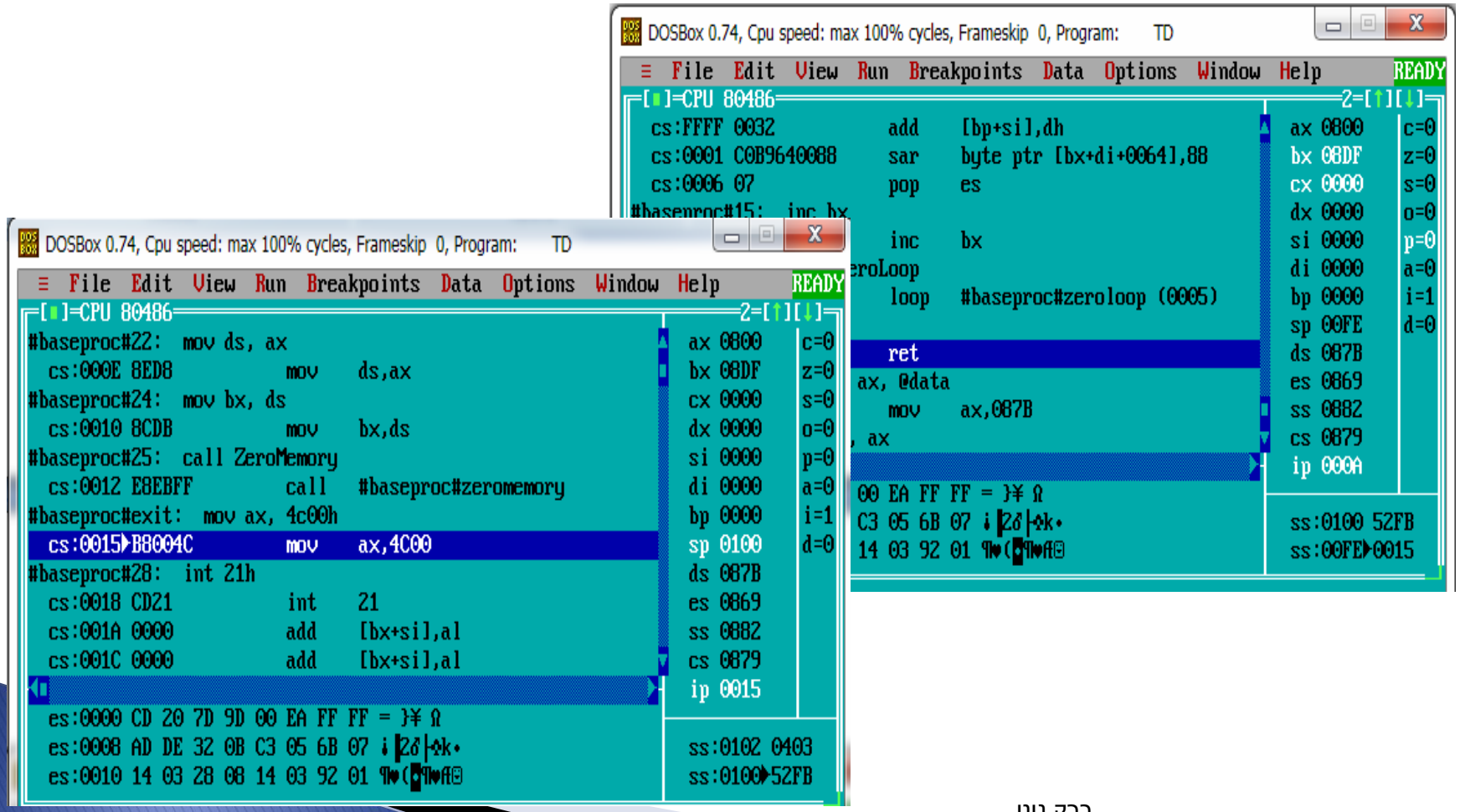


- מיד לאחר הקריאה לפרוצדורה השתנה ערכו של ip
  - מדוע כעת ip=0000?
- איזה עוד רגיסטר השתנה?

איזה ערך נמצא כרגע במקום ss:sp?

פקודת ret

- מצב המעבד לפני ואחרי הרצת פקודת ה-ret:



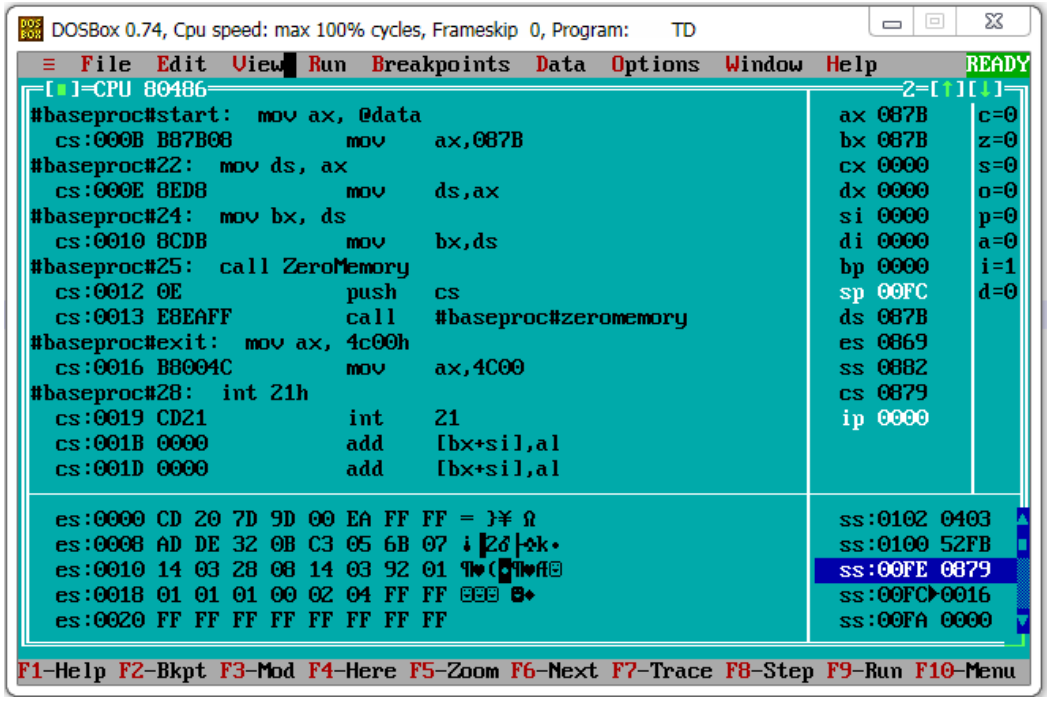
סיכום- פקודות call, ret

- פקודת call:
  - מורידה את ערכו של sp בשתיים (יש מקרה שבו היא מורידה את ערכו של sp בארבע- בהמשך)
  - מעתיקה לתוך הכתובת ss:sp, את הכתובת בזיכרון אליה יש לחזור בסיום ריצת הפרוצדורה
  - מעתיקה לתוך ip את הכתובת של הפקודה הראשונה של הפרוצדורה
  - מבצעת jump אל תחילת הפרוצדורה
- פקודת ret:
  - קוראת מהכתובת ss:sp, את הכתובת בזיכרון אליה יש לחזור.
  - מעלה את ערכו של sp בשתיים (במקרה זה- מקרים אחרים בהמשך).
  - משנה את ה-ip אל הכתובת שנקראה מ-ss:sp, ובכך מחזירה את התוכנית לנקודה בה היא היתה לפני הקריאה לפרוצדורה.

פרוצדורות near, far

- פרוצדורה יכולה להיות או באותו סגמנט עם הקוד שקורא לה, או בסגמנט אחר
- פרוצדורה near- באותו סגמנט
- פרוצדורה far- בסגמנט אחר
  - תוספת ההוראה far בכותרת הפרוצדורה
  - למחסנית יידחף גם ה-ip וגם הסגמנט של כתובת החזרה
    - ערכו של sp יירד ב-4 עם ביצוע call
    - ערכו של sp יעלה ב-4 עם ביצוע ret
- סביר שנשתמש רק בפרוצדורות near

פרוצדורת far



- התוכנית הועתקה עם תוספת של מילה אחת בלבד:

proc ZeroMemory far

- אילו שינויים חלו במהלך הריצה?

שימוש במחסנית לשמירת מצב התוכנית

```
CODESEG
proc    Print10X
        mov     cx, 4       ; 4 'X' per line
PrintXLoop:
        mov     dl, 'X'
        mov     ah, 2h
        int     21h         ; Print 'X'
        loop    PrintXLoop
        ret
endp    Print10X

start:
        mov     ax, @data
        mov     ds, ax
        mov     cx, 3
```

- מתכנת רצה להדפיס למסך שלוש שורות, ארבעה Xים בכל שורה
- מה הבעיה בתוכנית הבאה?

```
Row:
        call    Print10X
        mov     dl, 0ah
        mov     ah, 2h
        int     21h         ; New line
        loop    Row
exit:   mov     ax, 4c00h
        int     21h
END     start
```

שימוש במחסנית לשמירת מצב התוכנית

- נדאג לשמור את cx בכניסה לפרוצדורה ולשחזר את ערכו ביציאה

```
CODESEG
proc    Print10X
        push    cx
        mov     cx, 4       ; 4 'X' per line
PrintXLoop:
        mov     dl, 'X'
        mov     ah, 2h
        int     21h         ; Print 'X'
        loop    PrintXLoop
        pop     cx
        ret
endp    Print10X

start:
        mov     ax, @data
        mov     ds, ax
        mov     cx, 3
```

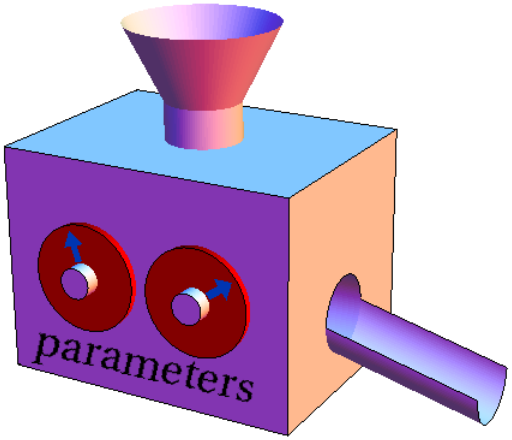
```
Row:
        call    Print10X
        mov     dl, 0ah
        mov     ah, 2h
        int     21h         ; New line
        loop    Row
exit:   mov     ax, 4c00h
        int     21h
END     start
```

תרגיל

```
CODESEG
proc    ChangeRegistersValues
        ; ???
        mov     ax, 1
        mov     bx, 2
        mov     cx, 3
        mov     dx, 4
        ; ???
        ret
endp    ChangeRegistersValues
```

- הוסיפו שורות קוד לפרוצדורה (במקום ה-???), כך שערכי הרגיסטרים ביציאה יהיו זהים לערכיהם בכניסה

העברת פרמטרים לפרוצדורה



- לא תמיד נרצה שפרוצדורה תבצע את אותו הדבר
  - תדפיס למסך 10 Xים
  - תדפיס למסך 9 Xים
  - האם צריך לכתוב פרוצדורה חדשה?
    - ניתן להעביר את כמות ה-Xים להדפסה כפרמטר
- שיטות להעברת פרמטרים לפרוצדורה:
  - שימוש ברגיסטרים כלליים
  - שימוש במשתנים שמוגדרים ב-DATASEG
  - העברת הפרמטרים על גבי המחסנית

שימוש ברגיסטרים כללים

```
proc    ZeroMemory
        mov     cx, ax
        ; ax holds the number
        ; of bytes that should
        ; become zero
        xor     al, al
ZeroLoop:
        mov     [bx], al
        inc     bx
        loop    ZeroLoop
        ret
endp    ZeroMemory
```

- נשים ברגיסטרים כללים את כל הפרמטרים שהפרוצדורה מקבלת
  - פשוט לשימוש
  - כמות מוגבלת של רגיסטרים
  - אם הפרוצדורה תשנה את הרגיסטרים ייתכן שזה ישנה את פעולת הקוד שקרא לה
- דוגמה: נשלח ל-ZeroMemory את כמות הבתים לאיפוס כפרמטר ע"י ax

שימוש במשתנים ב-dataseg

```
proc    ZeroMemory
        mov     cx, [NumOfZeroBytes]
        xor     al, al
ZeroLoop:
        mov     bx, [MemoryStart]
        mov     [bx], al
        inc     [MemoryStart]
loop    ZeroLoop
        ret
endp    ZeroMemory
```

- נגדיר משתנים ב-dataseg ונעתיק לתוכם את הפרמטרים
  - כבר אין בעיה של כמות פרמטרים
  - מתכנת הפרוצדורה צריך לתאם עם מתכנת התוכנית שקוראת לה
  - הקוד של הפרוצדורה קשה לשיתוף
  - מה אם שתי פרוצדורות צריכות להשתמש באותם פרמטרים?

העברת פרמטרים על המחסנית

- נשתמש במחסנית להעברת הפרמטרים
  - מצריך פקודות נוספות וזיכרון נוסף
  - אין מגבלה על כמות הפרמטרים
  - הפרוצדורה לא צריכה להכיר את שמות המשתנים בתוכנית שראה לה
  - ניתן לשתף קוד בקלות
  - השיטה המקובלת להעברת פרמטרים
- קיימות שתי שיטות להעברה:
  - העברה לפי ערך- Pass by value
  - העברה לפי ייחוס- Pass by reference

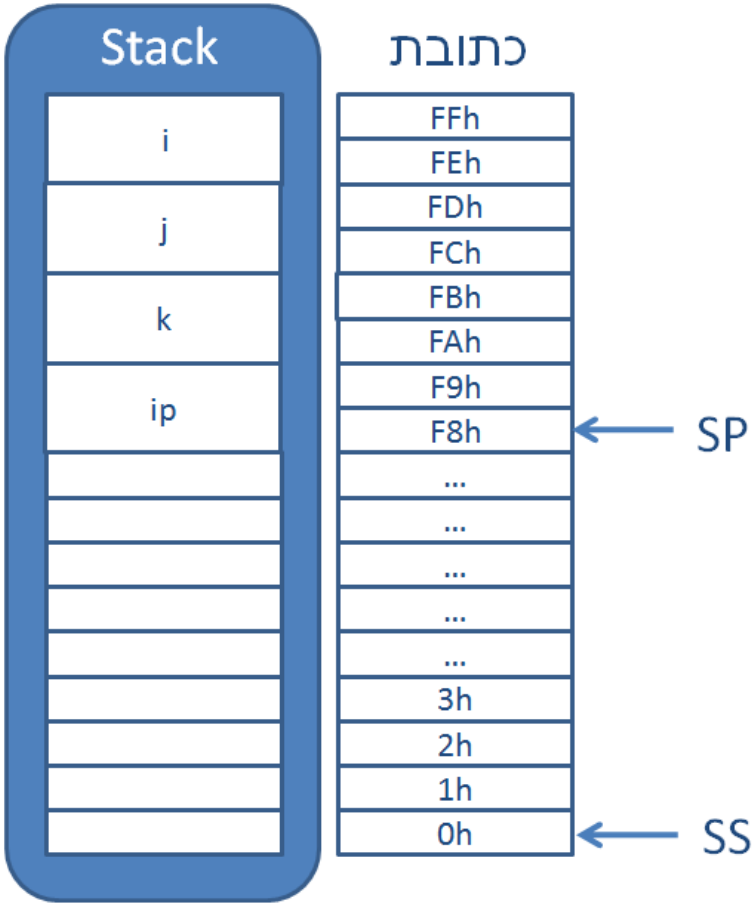
Pass By Value

- בשיטה זו מועבר לפרוצדורה ערך הפרמטר
- לדוגמה:

```
push [var]
push 8
```

- על המחסנית נוצר העתק של הפרמטר
- לפרוצדורה אין גישה לפרמטר המקורי
  - אינה יכולה לשנות את ערכו, רק את ההעתק

המשך - Pass By Value



- דוגמה: הפרוצדורה SimpleProc מחשבת I+J-K
- קריאה לפרוצדורה:

```
push    [i]
push    [j]
push    [k]
call    SimpleProc
```

המשך -Pass By Value

```
proc    SimpleProc
        pop     ReturnAddress
        pop     ax          ; k
        pop     bx          ; j
        sub     bx, ax      ; j-k
        pop     ax          ; i
        add     ax, bx      ; i+j-k
        push    ReturnAddress
        ret
endp    SimpleProc
```

- בתוך הפרוצדורה נבצע pop למחסנית כדי להוציא את הפרמטרים
- ה-pop הראשון יוציא את ip
  - זו אינה שיטה מקובלת, אנחנו משתמשים בה – זמנית- רק לצורך הבנת פעולת המחסנית
  - צריך לדחוף אותו חזרה למחסנית (מדוע?)
  - בדוגמה זו נשתמש במשתנה בשם ReturnAddress
  - ניתן להשתמש גם ברגיסטר

Pass By Value -תרגילים

- צרו פרוצדורה שמקבלת פרמטר אחד בשיטת pass by value ומדפיסה למסך מספר 'X'ים לפי הנתון בפרמטר. דגשים: יש לבדוק קודם לכן שערך הפרמטר חיובי! בסיום הריצה יש לשחזר את ערכי הרגיסטרים שנעשה בהם שימוש. עזרה – הדפסת תו למסך:

```
mov     dl, 'X'
mov     ah, 2h
int     21h
```

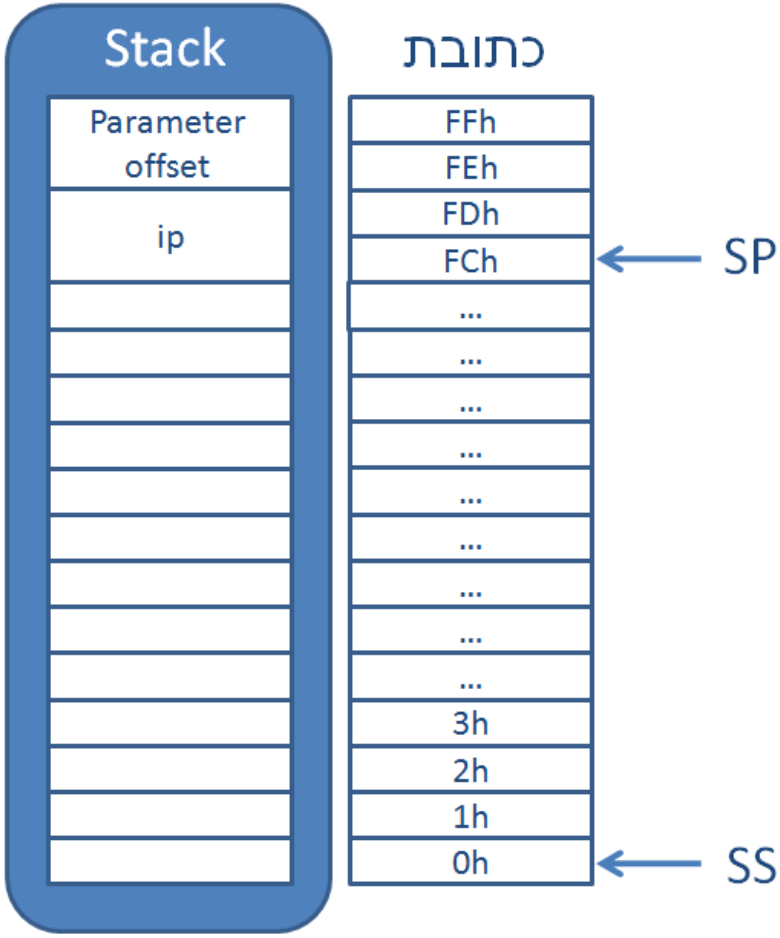
- צרו פרוצדורה שמקבלת שני פרמטרים בשיטת pass by value ומדפיסה למסך 'A' אם הפרמטר הראשון גדול מהשני, 'B' אם הפרמטר השני גדול מהראשון ו־'C' אם הם שווים. בסיום הפרוצדורה יש לשחזר את הערכים המקוריים של הרגיסטרים.

- צרו תוכנית שמוגדרים בה ארבעה מספרים כקבועים בתחילת התוכנית, ומשתנים בשם max ו־min. צרו פרוצדורה שמקבלת כפרמטרים pass by value את ארבעת המספרים הקבועים ומכניסה למשתנה max את הערך המקסימלי מביניהם ולמשתנה min את הערך המינימלי מביניהם.

Pass By Reference

- מעבירים לפרוצדורה את הכתובת של הפרמטר
  - מיד נראה כיצד
- על המחסנית לא נוצר העתק של הפרמטר
- לפרוצדורה יש גישה לכתובת בזיכרון שמכילה את הפרמטר
  - יכולה לשנות את ערכו

המשך -Pass By Reference



- כיצד מעבירים על המחסנית את כתובת הפרמטר?
  - דוחפים את האופסט
  - מבצעים קריאה לפרוצדורה

```
push    offset parameter
call    ProcName
```

המשך -Pass By Reference

- הפרוצדורה SimpleAdd מקבלת פרמטר בשיטת Pass by reference ומעלה את ערכו ב-2
- האם אפשר לבצע את אותה פעולה בשיטת Pass by value?

```
proc    SimpleAdd
        pop     ReturnAddress
        pop     bx          ; bx holds the
                            ; offset of "parameter"
        pop     es          ; es holds the
                            ; segment of "parameter"
        add     [byte ptr es:bx], 2
        push    ReturnAddress
        ret
endp    SimpleAdd
```

לא.
הפרוצדורה
היתה משנה
את ההעתק,
המקור היה
נשאר ללא
שינוי!

תרגילים -Pass By Reference

- צרו פרוצדורה שמקבלת פרמטר בשיטת pass by reference ומעלה את ערכו ב־1.
- צרו פרוצדורה שמקבלת ארבעה פרמטרים בשיטת pass by reference ומאפסת אותם.
- צרו פרוצדורה שמקבלת שני פרמטרים בשיטת pass by reference, ומחליפה ביניהם
  - לדוגמה – לפני הפרוצדורה var1=4, var2=5. אחרי הפרוצדורה var1=5, var2=4