Bitdefender® Awake.

Programare multi-modul

Marius Vanța
mvanta@bitdefender.com

Bitdefender

3. Interfațarea cu limbajele de nivel înalt

Interfațarea cu limbajele de nivel înalt

- Transmiterea parametrilor **prin valoare**
  - Se copiază valorile octeților ce compun datele
  - Risipitor și lent când datele ocupă multă memorie!
  - Din perspectiva apelantului, datele sunt constante!

- Transmiterea parametrilor **prin referință** (adresă/pointer)
  - Se specifică adresa (și uneori dimensiunea) datelor
  - Ineficient când datele ocupă puțin
    - 32 biți în plus pentru stocat adresa + citire pointer înainte de acces la date
  - Datele pot suferi modificări

- Decizia transmitere prin valoare sau prin referință
  - Criteriul de performanță: dimensiunea în octeți
    - Risc de a depăși memoria disponibilă? Prin referință!
  - Criteriul de accesibilitate: trebuie modificate datele?
    - Neapărat constante? Prin valoare!

Interfațarea cu limbajele de nivel înalt

- Convenții de apel (call conventions)
  - Cum transmitem parametri către subrutine?
    - Ce tipuri de parametri se pot transmite?
    - În ce ordine?
    - Câți parametri? Oricâți?
  - Ce resurse sunt volatile (poate să le altereze funcția apelată)?
  - Unde se regăsește rezultatul?
  - Ce acțiuni de curățare (cleanup) sunt necesare post-apel?
    - Cine este responsabil să le efectueze?
  - Convenții
    - Uzuale: **CDECL**, **STDCALL**, FASTCALL
    - Rar folosite sau învechite: PASCAL, FORTRAN, SYSCALL, etc...
    - Utilizator: **în asamblare toate aspectele documentate de către o convenție sunt accesibile programatorului!**

Interfațarea cu limbajele de nivel înalt

- Convenții de apel – convenția C (**CDECL**)
  - Specifică limbajului C
  - Cum transmitem parametri către subrutine? Prin împingerea lor pe stivă
    - Ce tipuri de parametri se pot transmite? Orice, dar necesită extins la minim DWORD
    - În ce ordine? Dreapta către stânga, adică, invers ordinii de la declarație
    - Câți parametri? Oricâți? Da, C permite funcții cu oricâți parametri (ex: printf)
  - Ce resurse sunt volatile? EAX, ECX, EDX, Eflags
  - Unde se regăsește rezultatul? EAX, EDX:EAX sau ST0 (FPU)
  - Ce acțiuni de curățare (cleanup) sunt necesare? Eliberarea argumentelor
    - Cine este responsabil să le efectueze ? Apelantul!

Parametri			Resurse volatile	Rezultate	Eliberare
Stocare	Ordine	Număr			
Stivă	Inversă	***Oricâți***	EAX, ECX, EDX, Eflags	EAX / EDX:EAX / ST0 (FPU)	***Apelant***

Interfațarea cu limbajele de nivel înalt

- Convenții de apel – convenția **STDCALL**
  - Specifică sistemului de operare Windows
    - Denumită și **WINAPI**
    - Folosită de către bibliotecile de sistem Windows
  - Foarte asemănătoare convenției CDECL
    - Diferențe:
      - *Număr fix de parametri*
      - *Eliberarea argumentelor o face funcția apelată*

Parametri			Resurse volatile	Rezultate	Eliberare
Stocare	Ordine	Număr			
Stivă	Inversă	***Fix***	EAX, ECX, EDX, EFlags	EAX / EDX:EAX / ST0 (FPU)	***Subrutina apelată***

Interfațarea cu limbajele de nivel înalt

- Apelul subrutinelor
  - Etape:
    1. **Cod de apel**: pregătirea și efectuarea apelului
    2. **Cod de intrare**: intrarea în procedură și pregătirea execuției
    3. **Cod de ieșire**: revenire și eliberarea resurselor ce au expirat
  - Acțiunile depind în funcție de convenția de apel a subrutinei apelate – dar etapele rămân aceleași!
  - Etapele sunt tratate/implementate automat în codul generat de către compilatoarele limbajele de nivel mai înalt
    - În asamblare rămâne totul în sarcina noastră!

Interfațarea cu limbajele de nivel înalt

Bitdefender

- Apelul subrutinelor – cod de apel
  - Sarcini:
    1. Salvare resurse volatile în uz: *push registru*
    2. Asigurare respectare constrângeri (ESP aliniat, DF=0, ...)
    3. Pregătire argumente (stivă, conform convenției): *push*
    4. Efectuare apel: *call*
       - *call subrutină când subrutină este linkeditată static*
       - *call [subrutină] dacă este dinamică (la link-time)*
       - *call registru sau call [variabilă] pentru dinamică la runtime*
  - Subrutinele asm *folosite doar din asm* pot evita (din simplitate si/sau eficientă) aceste sarcini

Interfațarea cu limbajele de nivel înalt

- Apelul subrutinelor – cod de apel
  - Exemplu: apel printf din asm pentru afișare numere 0..9

```
import exit msvcrt.dll
import printf msvcrt.dll
extern exit, printf
global start

segment code use32
    start:
        mov ecx, 10
        xor eax, eax
    .next:
        push eax
        push ecx

        push eax
        push dword format_string
        call [printf]
        add esp, 2*4

        pop ecx
        pop eax
        inc eax
    loop .next
    push dword 0
    call [exit]

segment data use32
    format_string db "%d", 10, 13, 0
```

Dacă apelul se făcea din C, compilatorul ar fi generat singur codul de apel!
Cum apelul se face din asamblare, codul de apel trebuie scris de către noi!

(1) Salvare resurse volatile
(2) DF=0, stiva a fost folosită doar pe DWORD
(3) Pregătire argumente apel CDECL
(4) Efectuare apel

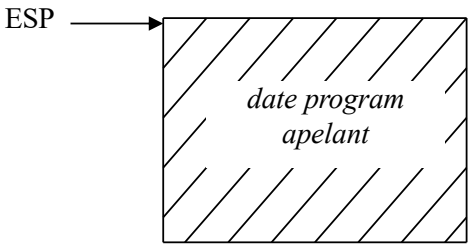
Restaurare resurse volatile (apelantul)

Interfațarea cu limbajele de nivel înalt

- Apelul subrutinelor – cod de apel
  - Efectul codului de apel asupra stivei

```
push eax
push ecx

push eax
push dword format_string
call [printf]
add esp, 2*4
```

Stare inițială



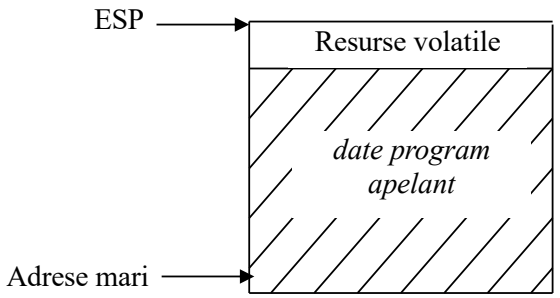
Interfațarea cu limbajele de nivel înalt

- Apelul subrutinelor – cod de apel
  - Efectul codului de apel asupra stivei

```
push eax
push ecx

push eax
push dword format_string
call [printf]
add esp, 2*4
```

(1) Salvare resurse volatile

(1) Salvare resurse volatile



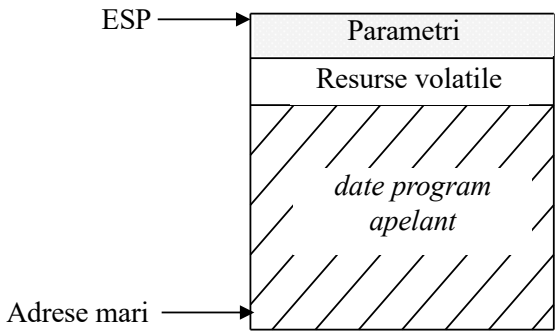
Interfațarea cu limbajele de nivel înalt

- Apelul subrutinelor – cod de apel
  - Efectul codului de apel asupra stivei

```
push eax
push ecx

push eax
push dword format_string
call [printf]
add esp, 2*4
```

(1) Salvare resurse volatile
(2) DF=0, stiva a fost folosită doar pe DWORD
(3) Pregătire argumente apel CDECL

(3) Pregătire argumente apel CDECL



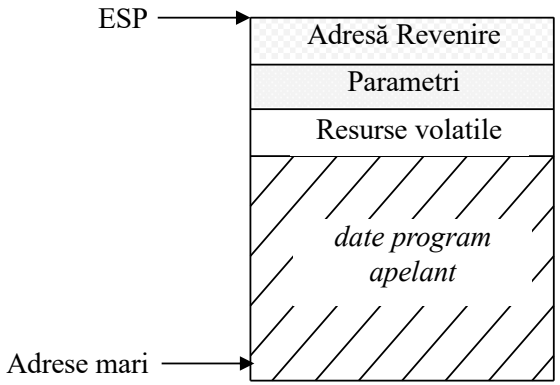
Interfațarea cu limbajele de nivel înalt

- Apelul subrutinelor – cod de apel
  - Efectul codului de apel asupra stivei

```
push eax
push ecx

push eax
push dword format_string
call [printf]
add esp, 2*4
```

(1) Salvare resurse volatile
(2) DF=0, stiva a fost folosită doar pe DWORD
(3) Pregătire argumente apel CDECL
(4) Efectuare apel

(4) Efectuare apel



Interfațarea cu limbajele de nivel înalt

- Apelul subrutinelor – cod de intrare
  - Sarcini:
    1. Configurarea unui **cadru de stivă** (stack frame): reper ebp sau esp?
    2. Pregătire variabile locale ale funcției: sub esp, număr_octeti
    3. Salvarea unei copii a resurselor *nevolatile* modificate: push registru
       - *Orice regiștri cu excepția celor volatili*

  - Cadru de stivă: structură de date stocată în stivă, de dimensiune fixă (pentru o subrutină dată) și conținând:
    - *Parametrii pregătiți de apelant*
    - *Adresa de revenire (către instrucțiunea ce-i urmează celei de apel)*
    - *Copii ale resurselor nevolatile folosite de subrutină*
    - *Variabile locale*

  - Subrutinele asm *folosite doar din asm* pot evita (din simplitate sau eficientă) aceste sarcini

Interfațarea cu limbajele de nivel înalt

- Apelul subrutinelor – cod de intrare
  - Exemplu: cod intrare în funcția CDECL chdir, generată de compilatorul C

(1) Configurare stack frame
(2) Variabile locale
(3) Salvare regiștri nevolatili

```
; dezasamblat cu IDA - The Interactive Disassembler
; sintaxa corespunde asamblorului MASM
; int __cdecl chdir(const char *)
chdir:
        mov     edi, edi ; inutil, dar permite modificare!
        push    ebp
        mov     ebp, esp
        sub     esp, 118h

        mov     eax, ___security_cookie
        xor     eax, ebp
        mov     [ebp+var_4], eax
        mov     eax, [ebp+lpPathName]
        and     [ebp+var_110], 0
        push    ebx
        or      ebx, 0FFFFFFFFh
        push    esi
;....
```

Codul de intrare a fost generat automat de către compilator!

Interfațarea cu limbajele de nivel înalt

- Apelul subrutinelor – cod de intrare
  - Exemplu: cod intrare într-o funcție STDCALL scrisă în asm de către noi

(1) Configurare stack frame
(2) Variabile locale
(3) Salvare regiștri nevolatili

```
int factorial (int n)
 { if (n==1) return 1;
      else
  return n * factorial (n-1);
 }
```

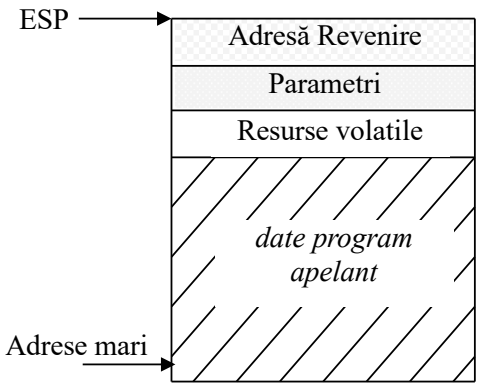
```
factorial://in modulul C apelant se declara – extern int _stdcall factorial(int n)
    push ebp
    mov ebp, esp        ; definim un cadru de stiva cu EBP pivot/referinta
    sub esp, 4          ; alocam spatiu pe stiva pentru o variabila DWORD temporara
    push ebx            ; salvam ebx pentru a-l putea restaura la sfarsit

    mov eax, [ebp + 8]  ; incarcam valoarea argumentului din stackframe (n-ul curent)

    cmp eax, 2          ; testam coditia de terminare (n < 2)
    jae .recursiv
    mov eax, 1          ; returnam 1 cand n < 2
    jmp .gata

.recursiv:
    push eax            ; retinem valoarea lui n sa nu-l pierdem la apelul recursiv

    dec eax             ; pregatim noul parametru n-1 pt a apela factorial(n-1)
    push eax            ; urcam in stiva valoarea n-1 ca parametru pt factorial(n-1)
    call factorial      ; apel recursiv (STDCALL)

    mov [ebp - 4], eax  ; salvam in DWORD-ul temporar valoarea lui factorial(n-1)
    pop eax             ; restauram valoarea lui n
    mov ebx, [ebp - 4]  ; ebx <- factorial(n-1), preluat din variabila temporara
    mul ebx             ; calculam (edx:)eax = (EAX=)n * (EBX=)factorial(n-1)

.gata:
    pop ebx             ; refacem EBX la valoarea initiala
    add esp, 4          ; eliberam memoria ocupata de variabila temporara
    pop ebp             ; restauram ebp la valoarea initiala
    ret 4               ; STDCALL: revenire cu eliberare memorie parametri
```

Interfațarea cu limbajele de nivel înalt

- Apelul subrutinelor – cod de intrare
  - Exemplu: cod intrare într-o funcție STDCALL scrisă în asm – stackframe

```
factorial:
    push ebp
    mov ebp, esp        ; definim un cadru de stiva cu EBP pivot/referinta
    sub esp, 4          ; alocam spatiu pe stiva pentru o variabila DWORD temporara
    push ebx            ; salvam ebx pentru a-l putea restaura

    mov eax, [ebp + 8]  ; incarcam valoarea argumentului din stackframe

    cmp eax, 2          ; testam coditia de terminare (n < 2)
    jae .recursiv
    mov eax, 1          ; returnam 1 cand n < 2
    jmp .gata

.recursiv:
    push eax            ; retinem valoarea lui n sa nu-l pierdem la apelul recursiv

    dec eax
    push eax            ; apelam factorial(n-1), am urcat in stiva valoarea n-1
    call factorial      ; apel recursiv (STDCALL)

    mov [ebp - 4], eax  ; salvam in DWORD-ul temporar valoarea lui factorial(n-1)
    pop eax             ; restauram valoarea lui n
    mov ebx, [ebp - 4]  ; ebx <- factorial(n-1), preluat din variabila temporara
    mul ebx             ; calculam (edx:)eax = (EAX=)n * (EBX=)factorial(n-1)

.gata:
    pop ebx             ; refacem EBX la valoarea initiala
    add esp, 4          ; eliberam memoria ocupata de variabila temporara
    pop ebp             ; restauram ebp la valoarea initiala
    ret 4               ; STDCALL: revenire cu eliberare memorie parametri
```

Stare la intrare



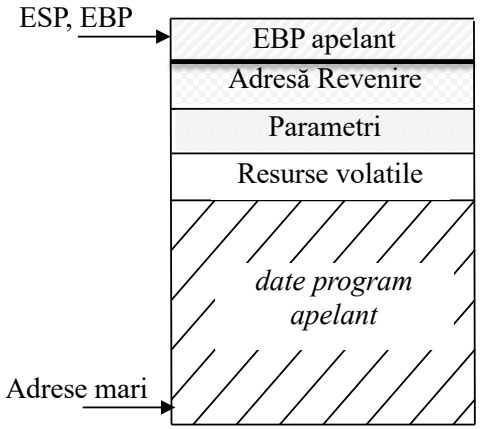
Interfațarea cu limbajele de nivel înalt

- Apelul subrutinelor – cod de intrare
  - Exemplu: cod intrare într-o funcție STDCALL scrisă în asm – stackframe

(1) Configurare stack frame

```
factorial:
    push ebp
    mov ebp, esp        ; definim un cadru de stiva cu EBP pivot/referinta
    sub esp, 4          ; alocam spatiu pe stiva pentru o variabila DWORD temporara
    push ebx            ; salvam ebx pentru a-l putea restaura

    mov eax, [ebp + 8]  ; incarcam valoarea argumentului din stackframe

    cmp eax, 2          ; testam coditia de terminare (n < 2)
    jae .recursiv
    mov eax, 1          ; returnam 1 cand n < 2
    jmp .gata

.recursiv:
    push eax            ; retinem valoarea lui n sa nu-l pierdem la apelul recursiv

    dec eax
    push eax            ; apelam factorial(n-1), am urcat in stiva valoarea n-1
    call factorial      ; apel recursiv (STDCALL)

    mov [ebp - 4], eax  ; salvam in DWORD-ul temporar valoarea lui factorial(n-1)
    pop eax             ; restauram valoarea lui n
    mov ebx, [ebp - 4]  ; ebx <- factorial(n-1), preluat din variabila temporara
    mul ebx             ; calculam (edx:)eax = (EAX=)n * (EBX=)factorial(n-1)

.gata:
    pop ebx             ; refacem EBX la valoarea initiala
    add esp, 4          ; eliberam memoria ocupata de variabila temporara
    pop ebp             ; restauram ebp la valoarea initiala
    ret 4               ; STDCALL: revenire cu eliberare memorie parametri
```

(1) Configurare stack frame



Interfațarea cu limbajele de nivel înalt

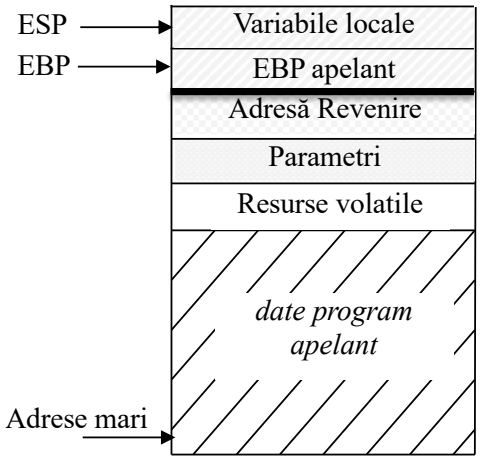
- Apelul subrutinelor – cod de intrare
  - Exemplu: cod intrare într-o funcție STDCALL scrisă în asm – stackframe

(1) Configurare stack frame

(2) Variabile locale

```
factorial:
    push ebp
    mov ebp, esp        ; definim un cadru de stiva cu EBP pivot/referinta
    sub esp, 4          ; alocam spatiu pe stiva pentru o variabila DWORD temporara
    push ebx            ; salvam ebx pentru a-l putea restaura

    mov eax, [ebp + 8]  ; incarcam valoarea argumentului din stackframe

    cmp eax, 2          ; testam coditia de terminare (n < 2)
    jae .recursiv
    mov eax, 1          ; returnam 1 cand n < 2
    jmp .gata

.recursiv:
    push eax            ; retinem valoarea lui n sa nu-l pierdem la apelul recursiv

    dec eax
    push eax            ; apelam factorial(n-1), am urcat in stiva valoarea n-1
    call factorial      ; apel recursiv (STDCALL)

    mov [ebp - 4], eax  ; salvam in DWORD-ul temporar valoarea lui factorial(n-1)
    pop eax             ; restauram valoarea lui n
    mov ebx, [ebp - 4]  ; ebx <- factorial(n-1), preluat din variabila temporara
    mul ebx             ; calculam (edx:)eax = (EAX=)n * (EBX=)factorial(n-1)

.gata:
    pop ebx             ; refacem EBX la valoarea initiala
    add esp, 4          ; eliberam memoria ocupata de variabila temporara
    pop ebp             ; restauram ebp la valoarea initiala
    ret 4               ; STDCALL: revenire cu eliberare memorie parametri
```

(2) Variabile locale



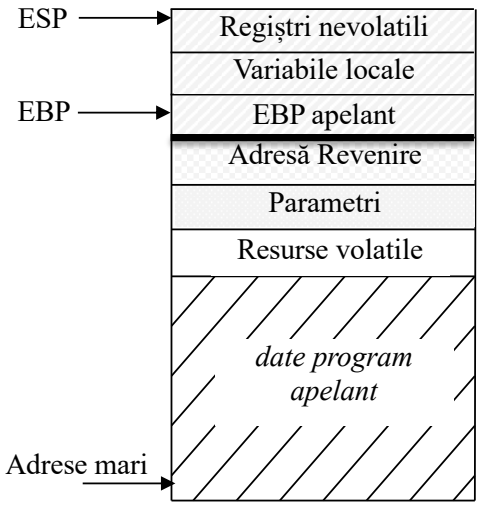
Interfațarea cu limbajele de nivel înalt

- Apelul subrutinelor – cod de intrare
  - Exemplu: cod intrare într-o funcție STDCALL scrisă în asm – stackframe

(1) Configurare stack frame
(2) Variabile locale
(3) Salvare regiștri nevolatili

```
factorial:
    push ebp
    mov ebp, esp          ; definim un cadru de stiva cu EBP pivot/referinta
    sub esp, 4            ; alocam spatiu pe stiva pentru o variabila DWORD temporara
    push ebx              ; salvam ebx pentru a-l putea restaura

    mov eax, [ebp + 8]    ; incarcam valoarea argumentului din stackframe

    cmp eax, 2            ; testam coditia de terminare (n < 2)
    jae .recursiv
    mov eax, 1            ; returnam 1 cand n < 2
    jmp .gata

.recursiv:
    push eax              ; retinem valoarea lui n sa nu-l pierdem la apelul recursiv
                  AICI SE GENEREAZA CODUL DE APEL PENTRU URMATORUL APEL RECURSIV !!
    dec eax
    push eax              ; apelam factorial(n-1), am urcat in stiva valoarea n-1
    call factorial        ; apel recursiv (STDCALL)

    mov [ebp - 4], eax    ; salvam in DWORD-ul temporar valoarea lui factorial(n-1)
    pop eax               ; restauram valoarea lui n
    mov ebx, [ebp - 4]    ; ebx <- factorial(n-1), preluat din variabila temporara
    mul ebx               ; calculam (edx:)eax = (EAX=)n * (EBX=)factorial(n-1)

.gata:
    pop ebx               ; refacem EBX la valoarea initiala
    add esp, 4            ; eliberam memoria ocupata de variabila temporara
    pop ebp               ; restauram ebp la valoarea initiala
    ret 4                 ; STDCALL: revenire cu eliberare memorie parametri
```

(3) Salvare regiștri nevolatili

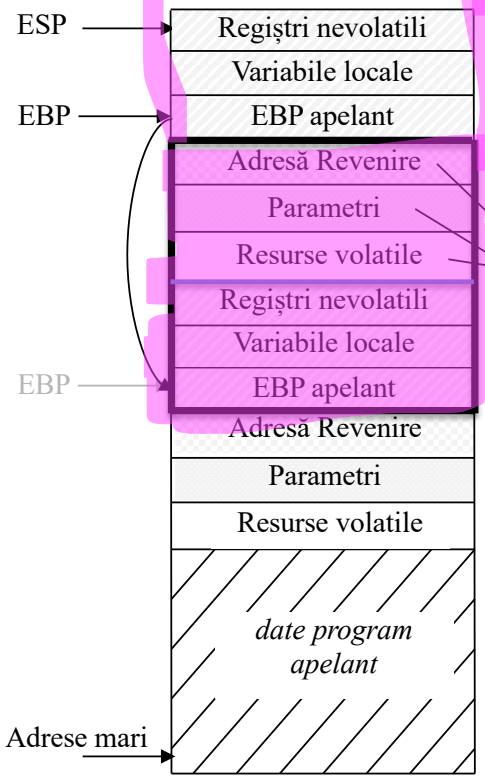


Interfațarea cu limbajele de nivel înalt

Bitdefender

- Apelul subrutinelor – cod de intrare
  - Exemplu: cod intrare într-o funcție STDCALL scrisă în asm – stackframe

Evolutie stivă la apel recursiv




```
factorial:
    push ebp
    mov ebp, esp            ; definim un cadru de stiva cu EBP pivot/referinta
    sub esp, 4              ; alocam spatiu pe stiva pentru o variabila DWORD temporara
    push ebx                ; salvam ebx pentru a-l putea restaura

    mov eax, [ebp + 8]      ; incarcam valoarea argumentului din stackframe

    cmp eax, 2              ; testam coditia de terminare (n < 2)
    jae .recursiv
    mov eax, 1              ; returnam 1 cand n < 2
    jmp .gata

.recursiv:
    push eax                ; retinem valoarea lui n sa nu-l pierdem la apelul recursiv
                  AICI SE GENEREAZA CODUL DE APEL PENTRU URMATORUL APEL RECURSIV !!
    dec eax
    push eax                ; apelam factorial(n-1), am urcat in stiva valoarea n-1
    call factorial          ; apel recursiv (STDCALL)

    mov [ebp - 4], eax      ; salvam in DWORD-ul temporar valoarea lui factorial(n-1)
    pop eax                 ; restauram valoarea lui n
    mov ebx, [ebp - 4]      ; ebx <- factorial(n-1), preluat din variabila temporara
    mul ebx                 ; calculam (edx:)eax = (EAX=)n * (EBX=)factorial(n-1)

.gata:
    pop ebx                 ; refacem EBX la valoarea initiala
    add esp, 4              ; eliberam memoria ocupata de variabila temporara
    pop ebp                 ; restauram ebp la valoarea initiala
    ret 4                   ; STDCALL: revenire cu eliberare memorie parametri
```

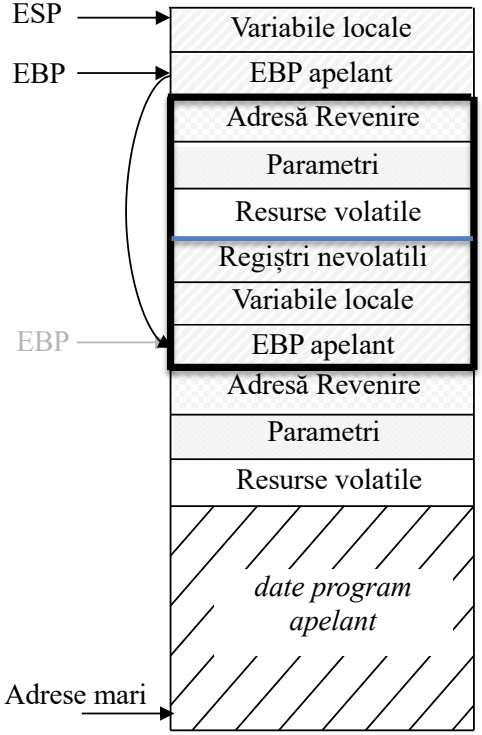
Interfațarea cu limbajele de nivel înalt

- Apelul subrutinelor – cod de ieșire
  - Sarcini:
    1. Restaurare resurse nevolatile alterate
    2. Eliberarea variabilelor locale ale funcției
    3. Dezafectarea cadrului de stivă
    4. Revenirea din funcție și eliberarea argumentelor
       - *CDECL:*
         - Subrutina apelată: ret
         - Subprogramul apelant: add esp, dimensiune_argumente
       - *STDCALL:*
         - *ret dimensiune_argumente*
  - Exceptând resursele volatile și rezultatele directe ale funcției, **starea programului după acești pași trebuie să reflecte starea inițială, de dinainte de apel!**

Interfațarea cu limbajele de nivel înalt

Bitdefender

- Apelul subrutinelor – cod de ieșire
  - Exemplu: cod ieșire dintr-o funcție STDCALL asm (din apel recursiv) - stackframe

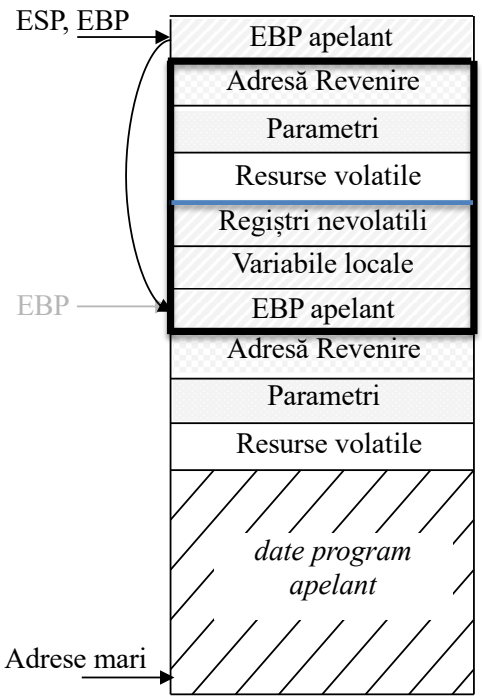


(1) Regiștri nevolatili

```
factorial:
    push ebp
    mov ebp, esp        ; definim un cadru de stiva cu EBP pivot/referinta
    sub esp, 4          ; alocam spatiu pe stiva pentru o variabila DWORD temporara
    push ebx            ; salvam ebx pentru a-l putea restaura

    mov eax, [ebp + 8]  ; incarcam valoarea argumentului din stackframe

    cmp eax, 2          ; testam coditia de terminare (n < 2)
    jae .recursiv
    mov eax, 1          ; returnam 1 cand n < 2
    jmp .gata

.recursiv:
    push eax            ; retinem valoarea lui n sa nu-l pierdem la apelul recursiv

    dec eax
    push eax            ; apelam factorial(n-1), am urcat in stiva valoarea n-1
    call factorial      ; apel recursiv (STDCALL)

    mov [ebp - 4], eax  ; salvam in DWORD-ul temporar valoarea lui factorial(n-1)
    pop eax             ; restauram valoarea lui n
    mov ebx, [ebp - 4]  ; ebx <- factorial(n-1), preluat din variabila temporara
    mul ebx             ; calculam (edx:)eax = (EAX=)n * (EBX=)factorial(n-1)

.gata:
    pop ebx             ; refacem EBX la valoarea initiala
    add esp, 4          ; eliberam memoria ocupata de variabila temporara
    pop ebp             ; restauram ebp la valoarea initiala
    ret 4               ; STDCALL: revenire cu eliberare memorie parametri
```

Interfațarea cu limbajele de nivel înalt

- Apelul subrutinelor – cod de ieșire
  - Exemplu: cod ieșire dintr-o funcție STDCALL asm (din apel recursiv) - stackframe



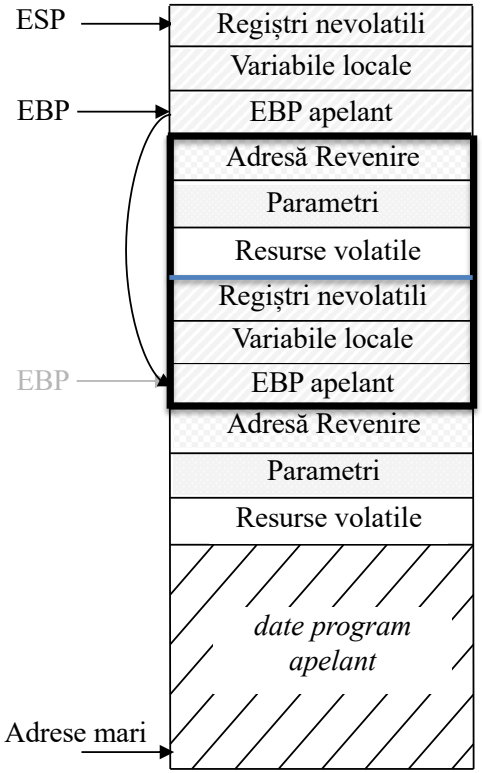
(2) Variabile locale

```
factorial:
    push ebp
    mov ebp, esp        ; definim un cadru de stiva cu EBP pivot/referinta
    sub esp, 4          ; alocam spatiu pe stiva pentru o variabila DWORD temporara
    push ebx            ; salvam ebx pentru a-l putea restaura

    mov eax, [ebp + 8]  ; incarcam valoarea argumentului din stackframe

    cmp eax, 2          ; testam coditia de terminare (n < 2)
    jae .recursiv
    mov eax, 1          ; returnam 1 cand n < 2
    jmp .gata

.recursiv:
    push eax            ; retinem valoarea lui n sa nu-l pierdem la apelul recursiv

    dec eax
    push eax            ; apelam factorial(n-1), am urcat in stiva valoarea n-1
    call factorial      ; apel recursiv (STDCALL)

    mov [ebp - 4], eax  ; salvam in DWORD-ul temporar valoarea lui factorial(n-1)
    pop eax             ; restauram valoarea lui n
    mov ebx, [ebp - 4]  ; ebx <- factorial(n-1), preluat din variabila temporara
    mul ebx             ; calculam (edx:)eax = (EAX=)n * (EBX=)factorial(n-1)

.gata:
    pop ebx             ; refacem EBX la valoarea initiala
    add esp, 4          ; eliberam memoria ocupata de variabila temporara
    pop ebp             ; restauram ebp la valoarea initiala
    ret 4               ; STDCALL: revenire cu eliberare memorie parametri
```

Interfațarea cu limbajele de nivel înalt

Bitdefender

- Apelul subrutinelor – cod de ieșire
  - Exemplu: cod ieșire dintr-o funcție STDCALL asm (din apel recursiv) - stackframe



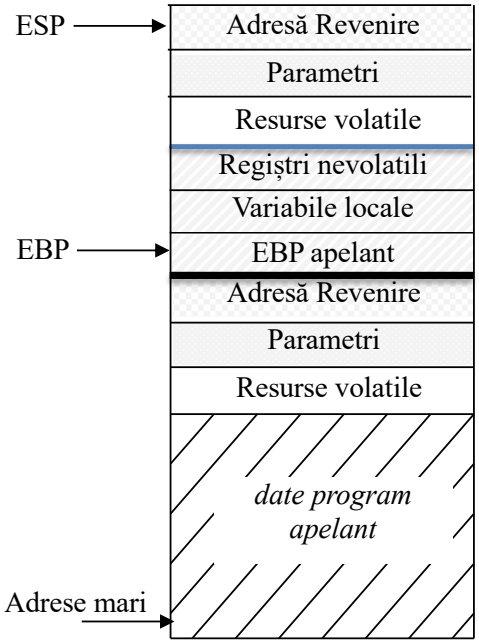
(1) Regiștri nevolatili
(2) Eliberare variabile
(3) Dezafectare stackframe
(4) Revenire și eliberare

```
factorial:
    push ebp
    mov ebp, esp        ; definim un cadru de stiva cu EBP pivot/referinta
    sub esp, 4          ; alocam spatiu pe stiva pentru o variabila DWORD temporara
    push ebx            ; salvam ebx pentru a-l putea restaura

    mov eax, [ebp + 8]  ; incarcam valoarea argumentului din stackframe

    cmp eax, 2          ; testam coditia de terminare (n < 2)
    jae .recursiv
    mov eax, 1          ; returnam 1 cand n < 2
    jmp .gata

.recursiv:
    push eax            ; retinem valoarea lui n sa nu-l pierdem la apelul recursiv

    dec eax
    push eax            ; apelam factorial(n-1), am urcat in stiva valoarea n-1
    call factorial      ; apel recursiv (STDCALL)

    mov [ebp - 4], eax  ; salvam in DWORD-ul temporar valoarea lui factorial(n-1)
    pop eax             ; restauram valoarea lui n
    mov ebx, [ebp - 4]  ; ebx <- factorial(n-1), preluat din variabila temporara
    mul ebx             ; calculam (edx:)eax = (EAX=)n * (EBX=)factorial(n-1)

.gata:
    pop ebx             ; refacem EBX la valoarea initiala
    add esp, 4          ; eliberam memoria ocupata de variabila temporara
    pop ebp             ; restauram ebp la valoarea initiala
    ret 4               ; STDCALL: revenire cu eliberare memorie parametri
```

Interfațarea cu limbajele de nivel înalt

Bitdefender

- Apelul subrutinelor – cod de ieșire
  - Exemplu: cod ieșire dintr-o funcție STDCALL asm (din apel recursiv) - stackframe

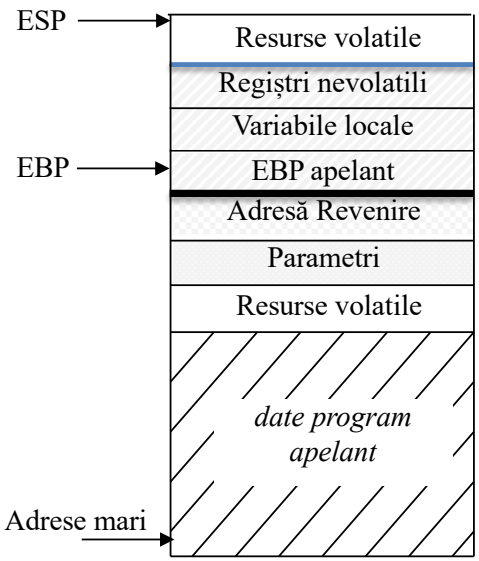


(3) Stackframe

```
factorial:
    push ebp
    mov ebp, esp        ; definim un cadru de stiva cu EBP pivot/referinta
    sub esp, 4          ; alocam spatiu pe stiva pentru o variabila DWORD temporara
    push ebx            ; salvam ebx pentru a-l putea restaura

    mov eax, [ebp + 8]  ; incarcam valoarea argumentului din stackframe

    cmp eax, 2          ; testam coditia de terminare (n < 2)
    jae .recursiv
    mov eax, 1          ; returnam 1 cand n < 2
    jmp .gata

.recursiv:
    push eax            ; retinem valoarea lui n sa nu-l pierdem la apelul recursiv

    dec eax
    push eax            ; apelam factorial(n-1), am urcat in stiva valoarea n-1
    call factorial      ; apel recursiv (STDCALL)

    mov [ebp - 4], eax  ; salvam in DWORD-ul temporar valoarea lui factorial(n-1)
    pop eax             ; restauram valoarea lui n
    mov ebx, [ebp - 4]  ; ebx <- factorial(n-1), preluat din variabila temporara
    mul ebx             ; calculam (edx:)eax = (EAX=)n * (EBX=)factorial(n-1)

.gata:
    pop ebx             ; refacem EBX la valoarea initiala
    add esp, 4          ; eliberam memoria ocupata de variabila temporara
    pop ebp             ; restauram ebp la valoarea initiala
    ret 4               ; STDCALL: revenire cu eliberare memorie parametri
```

Interfațarea cu limbajele de nivel înalt

- Apelul subrutinelor – cod de ieșire
  - Exemplu: cod ieșire dintr-o funcție STDCALL asm (din apel recursiv) - stackframe

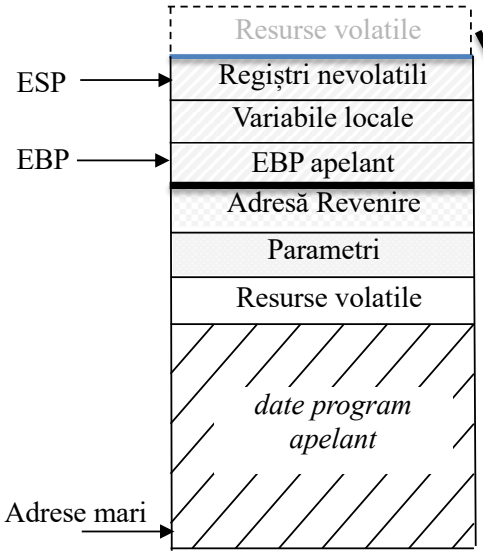


(4) Revenire și eliberare

```
factorial:
    push ebp
    mov ebp, esp        ; definim un cadru de stiva cu EBP pivot/referinta
    sub esp, 4          ; alocam spatiu pe stiva pentru o variabila DWORD temporara
    push ebx            ; salvam ebx pentru a-l putea restaura

    mov eax, [ebp + 8]  ; incarcam valoarea argumentului din stackframe

    cmp eax, 2          ; testam coditia de terminare (n < 2)
    jae .recursiv
    mov eax, 1          ; returnam 1 cand n < 2
    jmp .gata

.recursiv:
    push eax            ; retinem valoarea lui n sa nu-l pierdem la apelul recursiv

    dec eax
    push eax            ; apelam factorial(n-1), am urcat in stiva valoarea n-1
    call factorial      ; apel recursiv (STDCALL)

    mov [ebp - 4], eax  ; salvam in DWORD-ul temporar valoarea lui factorial(n-1)
    pop eax             ; restauram valoarea lui n
    mov ebx, [ebp - 4]  ; ebx <- factorial(n-1), preluat din variabila temporara
    mul ebx             ; calculam (edx:)eax = (EAX=)n * (EBX=)factorial(n-1)

.gata:
    pop ebx             ; refacem EBX la valoarea initiala
    add esp, 4          ; eliberam memoria ocupata de variabila temporara
    pop ebp             ; restauram ebp la valoarea initiala
    ret 4               ; STDCALL: revenire cu eliberare memorie parametri
```

Interfațarea cu limbajele de nivel înalt

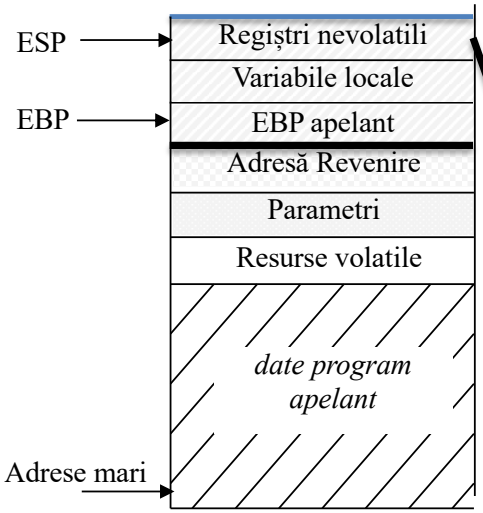
- Apelul subrutinelor – cod de ieșire
  - Exemplu: cod ieșire dintr-o funcție STDCALL asm (din apel inițial) - stackframe




```
factorial:
    push ebp
    mov ebp, esp        ; definim un cadru de stiva cu EBP pivot/referinta
    sub esp, 4          ; alocam spatiu pe stiva pentru o variabila DWORD temporara
    push ebx            ; salvam ebx pentru a-l putea restaura

    mov eax, [ebp + 8]  ; incarcam valoarea argumentului din stackframe

    cmp eax, 2          ; testam coditia de terminare (n < 2)
    jae .recursiv
    mov eax, 1          ; returnam 1 cand n < 2
    jmp .gata

.recursiv:
    push eax            ; retinem valoarea lui n sa nu-l pierdem la apelul recursiv

    dec eax
    push eax            ; apelam factorial(n-1), am urcat in stiva valoarea n-1
    call factorial      ; apel recursiv (STDCALL)

    mov [ebp - 4], eax  ; salvam in DWORD-ul temporar valoarea lui factorial(n-1)
    pop eax             ; restauram valoarea lui n
    mov ebx, [ebp - 4]  ; ebx <- factorial(n-1), preluat din variabila temporara
    mul ebx             ; calculam (edx:)eax = (EAX=)n * (EBX=)factorial(n-1)

.gata:
    pop ebx             ; refacem EBX la valoarea initiala
    add esp, 4          ; eliberam memoria ocupata de variabila temporara
    pop ebp             ; restauram ebp la valoarea initiala
    ret 4               ; STDCALL: revenire cu eliberare memorie parametri
```

Interfațarea cu limbajele de nivel înalt

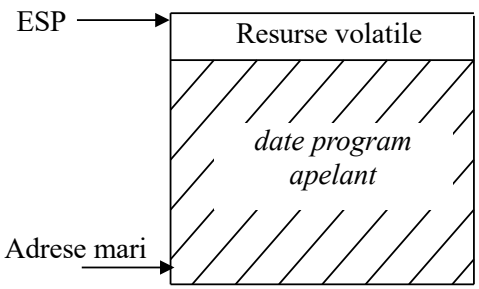
- Apelul subrutinelor – cod de ieșire
  - Exemplu: cod ieșire dintr-o funcție STDCALL asm (din apel inițial) - stackframe




```
factorial:
    push ebp
    mov ebp, esp        ; definim un cadru de stiva cu EBP pivot/referinta
    sub esp, 4          ; alocam spatiu pe stiva pentru o variabila DWORD temporara
    push ebx            ; salvam ebx pentru a-l putea restaura

    mov eax, [ebp + 8]  ; incarcam valoarea argumentului din stackframe

    cmp eax, 2          ; testam coditia de terminare (n < 2)
    jae .recursiv
    mov eax, 1          ; returnam 1 cand n < 2
    jmp .gata

.recursiv:
    push eax            ; retinem valoarea lui n sa nu-l pierdem la apelul recursiv

    dec eax
    push eax            ; apelam factorial(n-1), am urcat in stiva valoarea n-1
    call factorial      ; apel recursiv (STDCALL)

    mov [ebp - 4], eax  ; salvam in DWORD-ul temporar valoarea lui factorial(n-1)
    pop eax             ; restauram valoarea lui n
    mov ebx, [ebp - 4]  ; ebx <- factorial(n-1), preluat din variabila temporara
    mul ebx             ; calculam (edx:)eax = (EAX=)n * (EBX=)factorial(n-1)

.gata:
    pop ebx             ; refacem EBX la valoarea initiala
    add esp, 4          ; eliberam memoria ocupata de variabila temporara
    pop ebp             ; restauram ebp la valoarea initiala
    ret 4               ; STDCALL: revenire cu eliberare memorie parametri
```

Interfațarea cu limbajele de nivel înalt

- Apelul subrutinelor – cod de ieșire
  - Exemplu: cod ieșire dintr-o funcție STDCALL asm (din apel inițial) - stackframe




```
factorial:
    push ebp
    mov ebp, esp        ; definim un cadru de stiva cu EBP pivot/referinta
    sub esp, 4          ; alocam spatiu pe stiva pentru o variabila DWORD
temporara
    push ebx            ; salvam ebx pentru a-l putea restaura

    mov eax, [ebp + 8]  ; incarcam valoarea argumentului din stackframe

    cmp eax, 2          ; testam coditia de terminare (n < 2)
    jae .recursiv
    mov eax, 1          ; returnam 1 cand n < 2
    jmp .gata

.recursiv:
    push eax            ; retinem valoarea lui n sa nu-l pierdem la apelul recursiv

    dec eax
    push eax            ; apelam factorial(n-1), am urcat in stiva valoarea n-1
    call factorial      ; apel recursiv (STDCALL)

    mov [ebp - 4], eax  ; salvam in DWORD-ul temporar valoarea lui factorial(n-1)
    pop eax             ; restauram valoarea lui n
    mov ebx, [ebp - 4]  ; ebx <- factorial(n-1), preluat din variabila temporara
    mul ebx             ; calculam (edx:)eax = (EAX=)n * (EBX=)factorial(n-1)

.gata:
    pop ebx             ; refacem EBX la valoarea initiala
    add esp, 4          ; eliberam memoria ocupata de variabila temporara
    pop ebp             ; restauram ebp la valoarea initiala
    ret 4               ; STDCALL: revenire cu eliberare memorie parametri
```

Bitdefender®