

08 - Variáveis locais

Sistemas Hardware-Software - 2020/1

Igor Montagner

Como visto na expositiva, variáveis locais são armazenadas na pilha. O topo da pilha é armazenado em `%rsp` e ela cresce para baixo, ou seja, ao empilhar um dado o valor de `%rsp` diminui e ao desempilhar seu valor aumenta. O compilador faz todo o possível para usar somente os registradores, porém em alguns casos é necessário guardar a variável na memória. Isso ocorre, em geral, quando usamos `&` para computar o endereço de uma variável. O exemplo mais comum nos códigos que já escrevemos é na leitura de valores usando `scanf`.

Exemplo guiado: Funções que guardam variáveis na pilha seguem um padrão facilmente identificável. Primeiro elas subtraem um valor da pilha (`0x10` no exemplo abaixo) correspondente ao tamanho total de todas as variáveis usadas. Depois temos várias instruções usando endereços relativos a `%rsp` e por fim devolvemos o espaço usado somando `0x10` de volta a `%rsp`.

```
sub $0x10, %rsp
. . . // código da função aqui!
movl    0x8(%rsp),%eax
mov     %eax,%edx
addl    0xc(%rsp),%edx
. . . // função continua
add $0x10, %rsp
ret
```

No exemplo acima, temos duas variáveis locais: `0x8(%rsp)` e `0xc(%rsp)`. Cada uma é identificada no código Assembly pelo endereço em que está posicionada na pilha. Logo, **todo deslocamento em relação a `%rsp` indica um acesso a variável local**, sendo que pode ser um acesso de leitura e escrita (usando `MOV`, por exemplo) ou da operação *endereço de* `&` (usando `LEA`).

Conseguimos identificar que seus tamanhos são `int` por duas razões:

1. elas aparecem em instruções junto com registradores de 4 bytes (`%eax` e `%edx`)
2. as instruções `movl` e `addl` tem o sufixo `l`, que indica que os dados tratados tem tamanho 4 bytes. Os sufixos suportados são:
 - `b` - 1 byte
 - `w` - 2 bytes
 - `l` - 4 bytes
 - `q` - 8 bytes

Qualquer razão acima é suficiente para identificar os tipos das variáveis locais.

Importante: novamente, nem toda instrução em Assembly pode ser representada em *C*. As instruções `sub 0x10, %rsp` e `add 0x10, %rsp` representam a criação de variáveis locais na pilha e não tem equivalente em *C*. Simplesmente ignoramos elas e usamos as variáveis locais no código.

Antes de iniciar o próximo exercício vamos revisar como variáveis locais, globais e strings constantes são acessadas em código assembly. A imagem abaixo exemplifica os três casos:

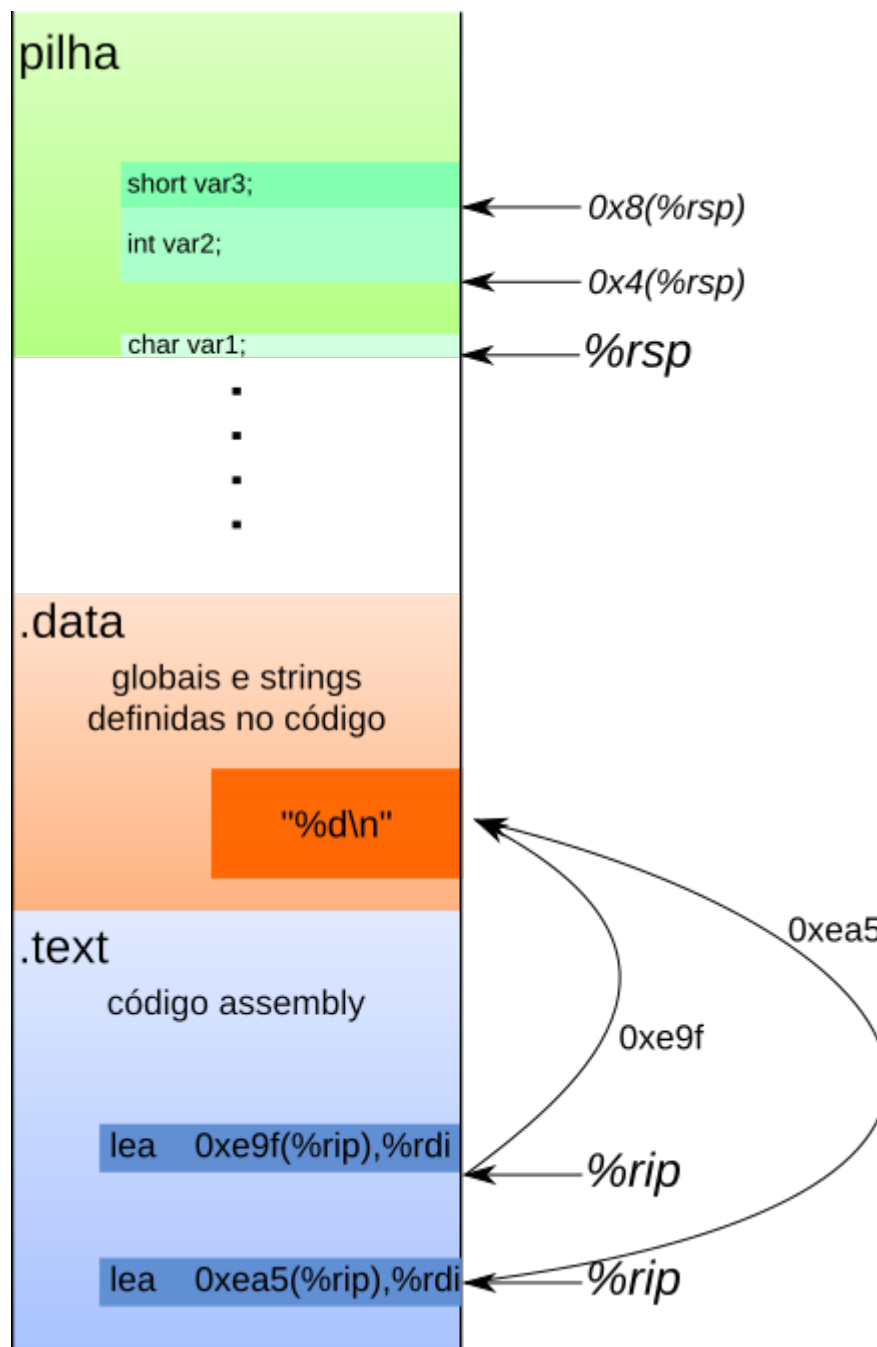


Figure 1: Organização das variáveis locais, globais e strings constantes na memória

- **Variáveis locais:** são acessadas com `lea` (para `&` - endereço de) ou `mov` (para leituras e escritas) relativos a `%rsp`
- **Globais e strings constantes:** são acessadas usando a notação `0xYY(%rip)`, sendo que o valor `0xYY` muda a cada acesso. No caso das strings, o acesso a estes endereços é somente leitura.

O endereçamento relativo a `%rip` leva em conta a posição relativa entre a instrução atual e o endereço de memória do dado. Na imagem acima estão destacadas duas instruções `lea` que acessam o mesmo dado. Como o `%rip` (ponteiro para a próxima instrução) é diferente precisamos de deslocamentos diferentes para acessar o mesmo dado.

Dica: o *gdb* coloca o endereço calculado ao lado das instruções deste tipo.

Exercício 1: É possível que o `lea` abaixo seja aritmético? Por que?

```
lea    0x8(%rsp),%rdx
```

Exercício 2: O código abaixo (*ex2.o*) utiliza variáveis locais.

Dump of assembler code for function func1:

```
0x0004 <+0>:    sub    $0x10,%rsp
0x0008 <+4>:    movl   $0xa,0xc(%rsp)
0x0010 <+12>:   movl   $0xb,0x8(%rsp)
0x0018 <+20>:   lea    0xc(%rsp),%rdi
0x001d <+25>:   callq  0x22 <func1+30>
0x0022 <+30>:   addl   $0x1,0x8(%rsp)
0x0027 <+35>:   lea    0x8(%rsp),%rdi
0x002c <+40>:   callq  0x31 <func1+45>
0x0031 <+45>:   add    $0x10,%rsp
0x0035 <+49>:   retq
```

1. Vamos começar analisando as três primeiras linhas do programa. Quanto espaço é reservado na pilha? Quantas variáveis são inicializadas e quais seus tamanhos e conteúdos? Dê um nome para cada uma delas.
2. Identifique onde as variáveis locais encontradas são usadas.
3. Os `lea` das linhas `+20` e `+35` podem ser aritméticos? Que operação eles representam?
4. Com base em sua resposta acima, traduza as chamadas de função que ocorrem nas linhas `+25` e `+40`.
5. Traduza o programa acima para C

Exercício 3: No exercício anterior vimos como passar variáveis por referência para outras funções. Agora veremos como trabalhar com `scanf`. Veja abaixo a função `main` do executável `ex3`. Abra este arquivo usando o `gdb` e siga os exercícios.

Dump of assembler code for function main:

```
0x1149 <+0>:    sub    $0x18,%rsp
0x114d <+4>:    lea    0xc(%rsp),%rsi
0x1152 <+9>:    lea    0xeab(%rip),%rdi    # 0x2004
0x1159 <+16>:   mov    $0x0,%eax
0x115e <+21>:   callq  0x1040 <__isoc99_scanf@plt>
0x1163 <+26>:   cmpl   $0x0,0xc(%rsp)
0x1168 <+31>:   js     0x1180 <main+55>
0x116a <+33>:   lea    0xe9f(%rip),%rdi    # 0x2010
0x1171 <+40>:   callq  0x1030 <puts@plt>
0x1176 <+45>:   mov    $0x0,%eax
0x117b <+50>:   add    $0x18,%rsp
0x117f <+54>:   retq
0x1180 <+55>:   lea    0xe80(%rip),%rdi    # 0x2007
0x1187 <+62>:   callq  0x1030 <puts@plt>
0x118c <+67>:   jmp    0x1176 <main+45>
```

1. Vamos começar procurando por variáveis locais que estejam na pilha. Quanto espaço é reservado para elas? Liste abaixo as que você encontrou e dê um nome para cada uma. **Dica:** todo acesso relativo a `%rsp` representa um acesso a variável local.
2. A instrução `call` em `main+21` é um `scanf`. O primeiro argumento é a string de formatação. Use o comando `x` do `gdb` para encontrar ela na memória.
3. O segundo argumento do `scanf` é o endereço da variável a ser preenchida. O endereço de qual variável local é passado?
4. Reconstrua a chamada do `scanf` acima.

Com a chamada do `scanf` pronta, vamos analisar o restante do código.

1. Agora examinaremos as chamadas em `main+40` e `main+62`. Elas são para a função `puts`. Veja sua documentação (procure por *C puts.*) e explique abaixo o quê ela faz e quais são seus argumentos.
2. Com base na explicação acima, escreva abaixo os argumentos passados para cada chamada.
3. Traduza o código acima para um versão em *C*.

Exercício 4 (entrega): levando em conta o código Assembly abaixo, faça uma versão em *C*. Você deverá usar todos os passos feitos nos exercícios anteriores.

Dump of assembler code for function ex4:

```
0x1149 <+0>:    push    %rbx
0x114a <+1>:    sub     $0x10,%rsp
0x114e <+5>:    mov     %edi,%ebx
0x1150 <+7>:    lea     0x8(%rsp),%rdx
0x1155 <+12>:   lea     0xc(%rsp),%rsi
0x115a <+17>:   lea     0xea3(%rip),%rdi      # 0x2004
0x1161 <+24>:   mov     $0x0,%eax
0x1166 <+29>:   callq   0x1040 <__isoc99_scanf@plt>
0x116b <+34>:   mov     0x8(%rsp),%edx
0x116f <+38>:   mov     0xc(%rsp),%eax
0x1173 <+42>:   lea     (%rax,%rdx,2),%eax
0x1176 <+45>:   add     %ebx,%eax
0x1178 <+47>:   add     $0x10,%rsp
0x117c <+51>:   pop     %rbx
0x117d <+52>:   retq
```

Exercício 5 (entrega): vamos agora juntar a aula atual com a anterior. Faça uma versão em *C* do código abaixo. Novamente, use os passos aprendidos nos roteiros anteriores;

Dump of assembler code for function ex5:

```
0x06ca <+0>:    push    %rbx
0x06cb <+1>:    sub     $0x10,%rsp
0x06cf <+5>:    movl    $0x1,0xc(%rsp)
0x06d7 <+13>:   mov     $0x0,%ebx
0x06dc <+18>:   cmpl    $0x0,0xc(%rsp)
0x06e1 <+23>:   jle     0x705 <ex5+59>
0x06e3 <+25>:   lea     0xc(%rsp),%rsi
0x06e8 <+30>:   lea     0xd5(%rip),%rdi    # 0x7c4
0x06ef <+37>:   mov     $0x0,%eax
0x06f4 <+42>:   callq   0x5a0 <__isoc99_scanf@plt>
0x06f9 <+47>:   mov     0xc(%rsp),%eax
0x06fd <+51>:   test    %eax,%eax
0x06ff <+53>:   jle     0x6dc <ex5+18>
0x0701 <+55>:   add     %eax,%ebx
0x0703 <+57>:   jmp     0x6dc <ex5+18>
0x0705 <+59>:   mov     %ebx,%eax
0x0707 <+61>:   add     $0x10,%rsp
0x070b <+65>:   pop     %rbx
0x070c <+66>:   retq
```