Assembly do IA-32 em ambiente Linux

TPC6 e Guião laboratorial

Alberto José Proença

Objectivo e notas

A lista de exercícios/tarefas propostos no TPC6 / Guião laboratorial analisa o **suporte a estruturas de controlo e a funções em C**, no IA-32, com recurso a um depurador (*debugger*). Relembra-se que devem usar o mesmo servidor remoto que foi usado na sessão laboratorial anterior, para se garantir coerência na análise e discussão dos resultados.

O texto de "**Introdução ao GDB *debugger***", no fim deste guião, contém informação pertinente ao funcionamento desta sessão laboratorial, e é uma sinopse ultra-compacta do manual; a versão integral está disponível no site da GNU, e recomenda-se ainda a consulta dos documentos disponibilizados nas notas de apoio da disciplina (na Web), por se referirem a versões mais compatíveis com as ferramentas instaladas no servidor.

Este guião permite a resolução do trabalho de modo autónomo e a sua **entrega é obrigatória**, na plataforma de *e-learning* da UC, antes das 9h00 de segunda 30-mar-20.

Ciclo *While*

1. a) Coloque a seguinte função em C num ficheiro com o nome `while_loop.c` , e execute a sua compilação para *assembly*, usando o comando `gcc –O2 –S while_loop.c` .

```
1 int while_loop(int x, int y, int n)
2 {
3   while ((n > 0) && (y < 16*n)) {
4     x += n;
5     y *= n;
6     n--;
7   }
8   return x;
9 }
```

b) (A) Considerando que os argumentos passados para a função `x, y,` e `n,` se encontram respetivamente à distância 8, 12 e 16 do endereço especificado em `%ebp`, **preencha a tabela de utilização de registos** (semelhante ao exemplo da série Fibonacci); considere também a utilização de registos para variáveis temporárias (não visíveis no código C).

Registo	Variável	Atribuição inicial
	x	
	y	
	n	

c) Confirme esta utilização dos registos, directamente no servidor. Sugestão de resolução:

(i) escrever o código do `main`, inserindo-o no ficheiro que contém a função,
(ii) compilar e procurar no *assembly* as instruções que alterem registos pela 1ª vez,
(iii) inserir pontos de paragem logo a seguir a essas instruções em *assembly*, e
(iv) executar o código de modo a parar nesses locais, e confirmar os valores nos registos.

Detalhes destas 4 tarefas:

i. **(A)** **Complete o ficheiro** `while_loop.c` com um programa simples (`main`) que chame a função `while_loop`, passando como argumentos para a função os valores 4, 2 e 3, respetivamente.

ii. **(A)** **Crie um executável** para ser depurado, com o comando `gcc -Wall –O2 -g`, **desmonte** o executável com o comando `objdump –d`, e **encontre a localização** em `while_loop`, no código *assembly*, da **1ª instrução logo a seguir** à:
(i) leitura de cada um dos argumentos da *stack* ;
Nota: se o código gerado pelo compilador efectuar esta leitura em 3 instruções consecutivas, basta então identificar apenas a instrução que se segue à última leitura; e
(ii) utilização pela 1ª vez de cada um dos restantes registos; **escreva aqui** essas instruções em *assembly* e sua **localização em memória** (endereços de memória):

iii. **(A)** Invocando o *debugger* (com `gdb <nome_fich_executável>`), **insira pontos de paragem** (*breakpoints*) nesses endereços, antes da execução das instruções; **explicite** os comandos usados e registe o nº de *breakpoint* atribuído a cada endereço:

iv. **(A)** Estime os valores atribuídos aos registos, **preenchendo esta tabela sem executar qualquer código** (apenas com base na análise do código *assembly*).
Depois, **confirme esses valores** executando o programa dentro do *debugger*: após cada paragem num *breakpoint*, **visualize** o conteúdo dos registos com `print $reg` ou com `info registers` e preencha a tabela em baixo com os valores lidos:

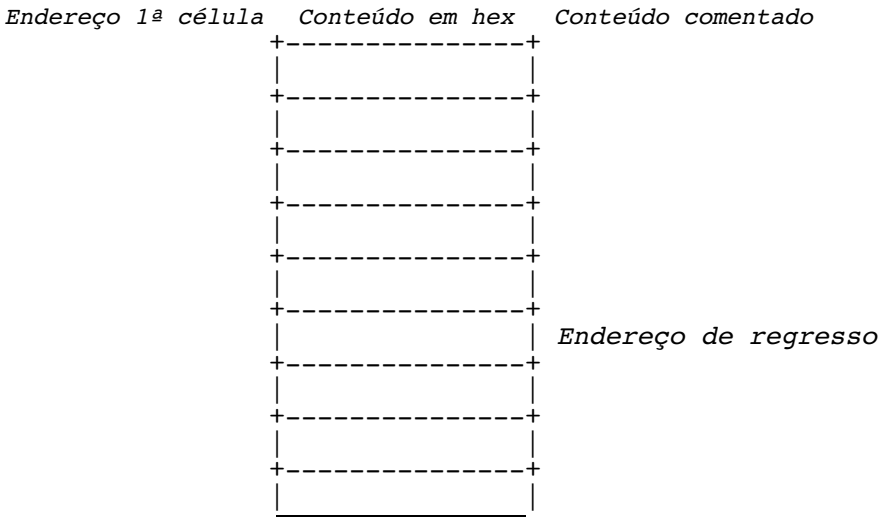
Registo	Variável	Break1	Break_	Break_	Break_	Break_
	x					
	y					
	n					

d) **(R/B)** Com base nos argumentos passados para a função `while_loop` (no `main`), é possível estimar quantas vezes o *loop* é executado na função. Para confirmar esse valor, uma técnica é introduzir um *breakpoint* na instrução de salto condicional de regresso ao início do *loop*. Indique o que fazer depois para **confirmar o nº de execuções** do *loop*.

e) **(A/R)** Considerando que a *stack* cresce para cima, pretende-se construir o diagrama da *stack frame* da função `while_loop` logo após a execução da instrução antes do 2º *breakpoint*, com o máx. de indicações (endereços e conteúdos, ver 1ª linha da figura). Comente cada um dos conteúdos da *stack frame* (por ex., "endereço de regresso").

Construa assim esse diagrama: **(i)** estime os valores antes da execução do código, e **(ii)** confirme posteriormente esses valores, usando o depurador durante a execução do código

Nota: neste diagrama, cada caixa representa um bloco de 32-bits em 4 células.



f) **(A/R) Identifique** a expressão de teste e o corpo do ciclo `while` (*body-statement*) no bloco do código C, **e assinale** as linhas de código no programa em *assembly* que lhe são correspondentes. Que otimização foi feita pelo compilador?

g) **(R)** Escreva uma versão do tipo `goto` (em C) da função, com uma estrutura semelhante ao do código *assembly* (tal como foi feito para a série Fibonacci).
(*Para fazer depois da sessão laboratorial*)

Anexo: Introdução ao GNU *debugger*

O GNU *debugger* GDB disponibiliza um conjunto de funcionalidades úteis na análise e avaliação do funcionamento de programas em linguagem máquina, durante a sua execução; permite ainda a execução controlada de um programa, com indicação explícita de quando interromper essa execução – através de *breakpoints*, ou em execução passo-a-passo – e possibilitando a análise do conteúdo de registos e de posições de memória, após cada interrupção.
Use o GDB para confirmar as tabelas de utilização de registos e o valor dos argumentos nos exercícios. Nota: utilize primeiro `objdump` para obter uma versão "desmontada" do programa.

A tabela/figura seguinte (de CSAPP) ilustra a utilização de alguns dos comandos mais comuns para o IA-32.

Command	Effect
Starting and Stopping	
quit	Exit GDB
run	Run your program (give command line argum. here)
kill	Stop your program
Breakpoints	
break sum	Set breakpoint at entry to function `sum`
*break *0x80483c3*	Set breakpoint at address `0x80483c3`
disable 3	Disable breakpoint 3
enable 2	Enable breakpoint 2
clear sum	Clear any breakpoint at entry to function `sum`
delete 1	Delete breakpoint 1
delete	Delete all breakpoints
Execution	
stepi	Execute one instruction
stepi 4	Execute four instructions
nexti	Like `stepi`, but proceed through function calls
continue	Resume execution
finish	Run until current function returns
Examining code	
disas	Disassemble current function
disas sum	Disassemble function sum
disas 0x80483b7	Disassemble function around address `0x80483b7`
disas 0x80483b7 0x80483c7	Disassemble code within specified address range
print /x $eip	Print program counter in hex
Examining data	
print $eax	Print contents of `%eax` in decimal
print /x $eax	Print contents of `%eax` in hex
print /t $eax	Print contents of `%eax` in binary
print 0x100	Print decimal representation of `0x100`
print /x 555	Print hex representation of 555
print /x ($ebp+8)	Print contents of `%ebp` plus 8 in hex
*print *(int *) 0xbffff890*	Print integer at address `0xbffff890`
*print *(int *) ($ebp+8)*	Print integer at address `%ebp` + 8
x/2w 0xbffff890	Examine 2(4-byte) words starting at addr 0xbffff890
x/20b sum	Examine first 20 bytes of function `sum`
Useful information	
info frame	Information about current stack frame
info registers	Values of all the registers
help	Get information about GDB

Figure 3.27: **Example GDB Commands.** These examples illustrate some of the ways GDB supports debugging of machine-level programs.

Nº	**Nome:**	**Turma:**

Resolução dos exercícios (deve ser redigido manualmente)

1. Código em *assembly*

Escreva aqui o código otimizado em *assembly* (tal como está no ficheiro `while_loop.s`) devidamente anotado, i.e., com comentários à frente de cada instrução, comentários esses que
(i) expliquem o que está a acontecer se for a fase de arranque ou término duma função e
(ii) mostrem que parte do código C essa instrução em *assembly* está a executar.
De seguida, analise o código em *assembly* e preencha a tabela.

Registo	Variável	Atribuição inicial
	`x`	
	`y`	
	`n`	

Escreva aqui o código C de um programa simples (`main`) que usa a função `while_loop` :

Apresente aqui o código executável depois de desmontado com o comando `objdump –d`.
Assinale neste pedaço de código as instruções que vão buscar à *stack* cada um dos 3 argumentos que foram passados para a função, para os colocar em registos.
Registe (marque) os endereços das instruções imediatamente a seguir a essas, para que sejam os pontos de paragem a introduzir na execução do código.
Uma vez parada a execução do código nesses endereços, vamos poder ver o conteúdo dos registos que receberam os argumentos, confirmando parte da tabela da página anterior.

Escreva aqui os endereços das instruções onde vai inserir pontos de paragem (*breakpoints*) quando usar o depurador `gdb`.

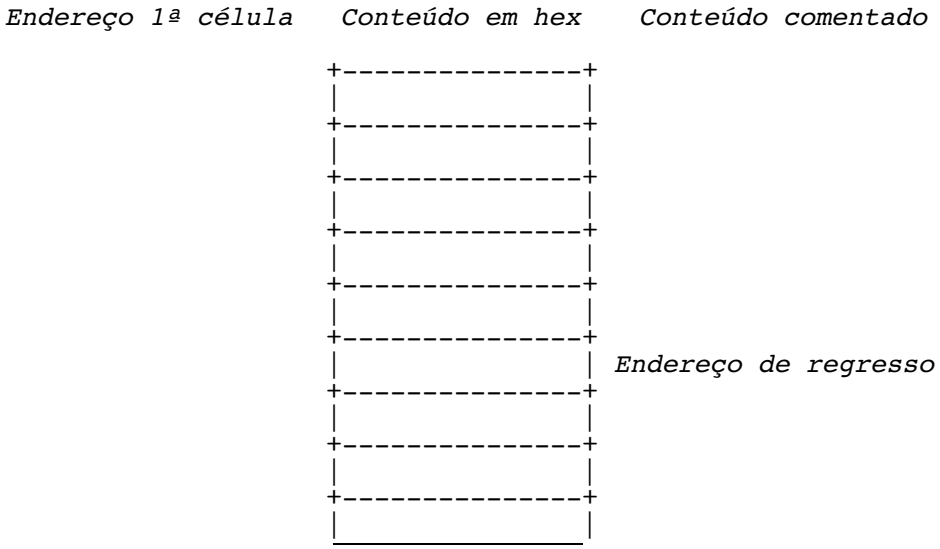
Antes de executar qualquer código, coloque aqui a sua estimativa do que irá estar nos registos após cada ponto de paragem:

Registo	Variável	Break1	Break_	Break_	Break_	Break_
	x					
	y					
	n					

Após execução do código de modo controlado (dentro do depurador), preencha de novo essa tabela com os valores que efetivamente leu quanto ao conteúdo dos registos, após cada ponto de paragem.

Registo	Variável	Break1	Break_	Break_	Break_	Break_
	x					
	y					
	n					

Preencha aqui os valores pedidos no enunciado relativamente à *stack frame* desta função, nomeadamente alguns endereços relevantes, o conteúdo de cada conjunto de 4 células de memória e uma interpretação de cada um desses conteúdos.
Os valores a colocar aqui deverão ser os valores lidos da memória do servidor no 2º ponto de paragem.



Nota: neste diagrama, cada caixa representa um bloco de 32-bits em 4 células.