Assembly do IA-32 em ambiente Linux

Trabalho para Casa: **TPC5**
Guião 3

Alberto José Proença

Metodologia

Este documento é simultaneamente o enunciado de TPC5 e o Guião3 de uma sessão laboratorial:

- o 1º exercício segue a estrutura típica de um **TPC**; i.e., é para ser integralmente resolvido em casa e a folha de resolução deverá ser entregue até **2h** antes do início da aula, no **Gab Técnicos do DI**;
- os restantes exercícios fazem parte do **Guião** da sessão laboratorial da semana de 19-Abr-05, e deverão ser estudados e preparados previamente a essa sessão; o texto do guião com alguns exercícios resolvidos deverá acompanhar a/o estudante na sessão laboratorial.

Temática

A lista de exercícios/trabalhos propostos em TPC5 / Guião3 analisa e complementa aspectos relacionados com o nível ISA do IA32, leccionados em aulas teóricas e referente ao conjunto de instruções para controlo do fluxo de execução, nomeadamente: **instruções de salto e suporte às estruturas de controlo em C** (ver sumários na página da disciplina na Web).

O texto anexo "**Introdução ao GDB *debugger***", contém informação pertinente ao funcionamento da sessão laboratorial, e é uma sinopse ultra-compacta do manual; a versão integral está disponível no site da GNU, e também em modo local (ver localizações no sumário desta aula).

Exercícios do TPC

Controlo do fluxo de execução de instruções

1. Nos seguintes excertos de programas desmontados do binário (*disassembled binary*), alguns ítens de informação foram substituidos por X's.

Notas: (i) no *assembly* da GNU, a especificação de um endereço em modo absoluto em hexadecimal contém o prefixo `*0x`, enquanto a especificação em modo relativo se faz em hexadecimal sem qualquer prefixo; (ii) não esquecer que o IA32 é *little endian*.

Responda às seguintes questões.

a) **(A)** Qual o endereço destino especificado na instrução `jge`?

```
8048d1c: 7d 9e              jge XXXXXXX
8048d1e: eb 24              jmp 8048d44
```

b) **(A)** Qual o endereço em que se encontra o início da instrução `jmp`?

```
XXXXXXX: eb 54              jmp 8047c42
XXXXXXX: c7 45 f8 10        mov $0x10,0xfffffff8(%ebp)
```

c) **(R)** Nesta alínea, o endereço da instrução de salto é especificado no modo relativo ao IP/PC, em 4 *bytes*, codificado em complemento para 2.

Qual o endereço especificado na instrução `jmp`?

```
8048902: e9 c2 10 00 00     jmp XXXXXXX
8048907: 90                 nop
```

d) **(R)** Nesta alínea o código contém várias referências a endereços em instruções de salto, cujos valores se encontram na gama $8043xxx_{16}$. Contudo, a sua codificação em binário segue regras distintas (absoluto/relativo, 1/4 *bytes*, ...). Calcule os endereços em falta para cada um dos 3 casos, e explicite a respectiva regra de codificação.

```
8043563: e9 XX XX XX XX     jmp 80436c1
8043568: 89 c2              mov %eax,%edx
804356a: 83 fa ff           cmp $0xffffffff,%edx
804356d: 74 XX              je  8043548
804356f: 89 d3              mov %edx,%ebx
8043571: ff 24 XX XX XX XX  jmp *0x8043580
```

MCC – Arquitectura de Computadores, 2004/05
TPC5

Nº	Nome:	Turma/Grupo/Nº:

Resolução dos exercícios

1. Controlo do fluxo de execução de instruções

a) `8048d1c: 7d 9e  jge XXXXXXX` _____

b) `XXXXXXX: eb 54  jmp 8047c42` _____

c) `8048902: e9 c2 10 00 00  jmp XXXXXXX` _____

Guião 3

A lista de exercícios que se segue é para ser parcialmente **feita em casa antes da sessão laboratorial** e estes estarão assinalados com uma caixa cinza (alguns poderão/deverão ser resolvidos após a sessão laboratorial, mas terão tal indicação).

Ciclo *While*

1. Coloque a seguinte função em C num ficheiro com o nome `while_loop.c` , e execute apenas 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 < n)) { /* Repare no uso do operador '&' */
4     x += n;
5     y *= n;
6     n--;
7   }
8   return x;
9 }
```

a) **(A)** Considerando que os argumentos `x, y, e n,` passados para a função, se encontram respectivamente 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`	
	`n`	
	`y`	

b) **Confirme esta utilização dos registos**, directamente no computador:

i. **(A)** Construa em C um programa simples (`main`) que use a função `while_loop`, e que não faça mais do que inicializar numericamente um conjunto de valores que irá depois passar como argumento para a função.
(*Sugestão: use variáveis com designações diferentes das usadas na função*)

ii. **(A)** Complete o ficheiro `while_loop.c` com o programa `main` que elaborou, e crie um executável usando o comando `gcc -Wall –O2 -g .`

iii. **(A)** Com o comando `objdump –d`, analise o código *assembly* e **identifique** em `while_loop`, **a 1ª instrução** (e respectiva **localização**) **logo a seguir** a: **(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 registos de 8 bits; escreva aqui essas instruções em *assembly* e respectiva localização:

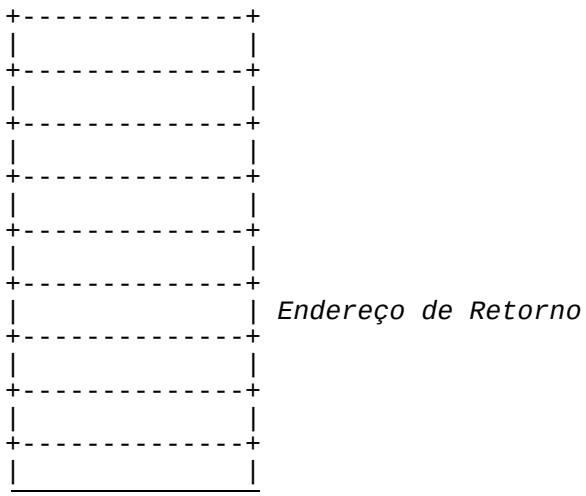
iv. **(A)** Invocando o *debugger* (com `gdb <nome_fich_executável>`), **insira pontos de paragem** (*breakpoints*) imediatamente antes da execução dessas instruções; explicite aqui os comandos usados (e registe o nº de *breakpoint* atribuido a cada endereço):

v. **(A)** Valide o conjunto de atribuições aos registos, **preenchendo esta tabela sem executar qualquer código** (apenas com base na análise do código).
Depois, **confirme esses valores** executando o programa dentro do *debugger* e, após cada paragem num *breakpoint*, visualizando o conteúdo dos registos (com `print $reg`, ou com `info registers`; de notar que o `gdb` apenas aceita especificação de registos de 32 bits).

Registo	Variável	Break1	Break2	Break3	Break4	Break5
	`x`					
	`n`					
	`y`					

c) **(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 deve fazer depois para confirmar esse valor.

d) **(A/R)** Considerando que a *stack* cresce para cima, pretende-se construir o diagrama da *stack frame* da função `while_loop` com o máx de indicações (endereços e conteúdos; pode ser em hexadecimal), logo após a execução da instrução antes do 2º *breakpoint*. Comente cada um dos conteúdos da *stack frame* (por ex., "endereço de retorno").
Construa assim esse diagrama: **(i)** estimando os valores antes da execução do código, e **(ii)** confirmando posteriormente esses valores, usando o depurador durante a execução do código.



e) **(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 optimizações foram feitas pelo compilador?

f) **(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*)

Ciclo *For*

2. No *site* da disciplina encontra-se disponível um ficheiro executável – mais concretamente em http://gec.di.uminho.pt/mcc/ac0405/Labs/m-contaN; faça o seu *download* para a sua máquina. O ficheiro contém um programa que calcula o somatório dos dígitos numa cadeia de caracteres, a partir de uma dada posição (tirando partido do facto de que o valor em hexadecimal do código ASCII do símbolo "0" é `0x30`).
Este ficheiro foi obtido após a execução do comando `gcc –Wall -O2 -I. contaN.c m-contaN.c -o m-contaN`, a partir da consola de um sistema Linux. Contudo, após a execução desse comando, o ficheiro `contaN.c` ficou danificado...
O ficheiro `m-contaN.c` contém o seguinte:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int contaN(char *s, int c);

int main()
{
   char cadeia[50];
   int c;

   printf("Introduza a cadeia de caracteres -->\n");
   scanf("%s",cadeia );
   printf("Qual a posição inicial na cadeia de caracteres -->\n");
   scanf("%d",&c );
   printf("O somatório dos digitos na cadeia é -->%d\n",contaN(cadeia,c));
   exit(0);
}
```

Por outro lado, desconfia-se que a estrutura da função que estava em `contaN.c` era do tipo:

```
   int i;
   int result;
   ???
   for ( ??? ; s[i]!= ??? ; ???)
      if (s[i] >= '0' && ??? )
         result += ??? ;
   return result;
```

a) **(A)** Teste o funcionamento do programa a partir da consola usando como entrada de dados uma cadeia de caracteres contendo alguns algarismos em decimal (ex.: "`1239aaswe67899`") e um inteiro para a posição inicial na cadeia de caracteres.

b) **(R)** Execute de novo o mesmo programa através do `gdb`. Use os comandos disponíveis para examinar código, de forma a visualizar o código simbólico ("desmontado" ou *disassembled*) correspondente à função (e apenas este). Escreva aqui o que obteve:

c) **(R)** Anote cuidadosamente o código visualizado na alínea anterior tendo em consideração que o resultado da função é devolvido no registo `%eax`.
Identifique no código:

- os registos que são atribuídos às variáveis locais `result` (_____) e `i` (_____)
- os registos que são usados com os argumentos da função _____
- a condição de teste do ciclo `for` _____
- o modo como a variável `i` é actualizada _____
- o código decimal correspondentes aos dígitos representados em *ASCII* _____
- a expressão em C que actualiza o valor de `result` no ciclo_____

d) **(R)** Com base no resultado das alíneas anteriores, recupere o ficheiro `contaN.c`.
(*Para fazer depois da sessão laboratorial*)

```
int i;
int result ;

for (       ; s[i]!=     ;       )
   if (s[i] >= '0' &&         )
      result +=         ;
return result;
```

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 IA32.

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.