Níveis de Abstração

TPC4 e Guião laboratorial

Luís P. Santos, António J. Esteves e Alberto J. Proença

Objetivo geral

Este documento é o **guião** de apoio ao funcionamento da primeira sessão laboratorial de SC. **É indispensável a sua leitura/estudo prévio**, incluindo a resolução e **entrega dos exercícios propostos**.

Objetivo concreto

Assimilar, ao longo de uma sessão laboratorial, os vários **níveis de abstração** envolvidos no processo de desenvolvimento de *software* e as respetivas representações usadas em cada nível, bem como os **mecanismos de conversão** entre esses níveis.

Para atingir os objetivos enumerados os alunos deverão desenvolver um programa em C, constituído por 2 módulos (em ficheiros distintos), e acompanhar e visualizar as várias fases, **usando as ferramentas do Linux** `gcc`, `gdb` e `objdump`. Um texto e slides de introdução ao Linux estão nas notas de apoio do website da UC.

Para garantir idênticos resultados em todos os trabalhos, deverão **usar sempre** a máquina virtual que se disponibiliza remotamente, em ambiente Linux, usando o ***username*** e ***password*** enviados por correio eletrónico na semana anterior à realização deste trabalho, pela equipa técnica do DI.

O **acesso remoto** faz-se com o protocolo `ssh` (*secure shell*). Por se tratar de um sistema antigo, o cliente `ssh` deverá ser configurado para permitir o uso de cifras simétricas e de métodos de troca de chaves (*key exchange algorithms, KexAlgorithms*) entretanto descontinuados. Os algoritmos a utilizar podem ser especificados ao invocar o comando, nomeadamente a cifra `aes256-cbc` e a troca de chaves `diffie-hellman-group1-sha1`. Note-se que estas configurações deverão apenas ser utilizadas neste contexto.

Em sistemas baseados em UNIX este cliente pode ser utilizado através das aplicações "Terminal". Em sistemas Windows 10 pela PowerShell ou, em alternativa, através da aplicação PuTTY.

O comando a executar será o seguinte (com o seu *username*), indicando depois a sua ***password*** :

```
ssh -c aes256-cbc -oKexAlgorithms=+diffie-hellman-group1-sha1 username@sc.di.uminho.pt
```

Uma vez na máquina remota escolha um editor de texto para começar a trabalhar. Recomendamos o `vi` (consultar https://www.cs.colostate.edu/helpdocs/vi.html) ou o `nano` (consultar, ignorando a parte da instalação, https://phoenixnap.com/kb/use-nano-text-editor-commands-linux).

---

1. Linguagem de alto nível (*HLL*)

Considere os módulos em C apresentados na tabela, que são para colocar em 2 ficheiros separados:

prog.c

```
void soma (int);
int main ()
{
   int x=2;
   soma (x);
   return 1;
}
```

soma.c

```
int accum=0;

void soma (int p)
{
   accum += p;
}
```

Exercício 1. (TPC) Escolha um editor de texto e crie no servidor remoto os ficheiros **`prog.c`** e **`soma.c`**. Diga em que formato está representada a informação contida nestes ficheiros? E nesse formato, quantas células de memória são necessárias para codificar e armazenar cada um dos carateres do ficheiro?

Exercício 2. (TPC) Qual o tamanho de cada um dos ficheiros? Calcule os tamanhos manualmente **e** confirme os valores com um comando da *shell* do Linux (indique o comando que usar)

2. Compilação

Por **compilação** entende-se a conversão de um programa escrito num dado nível de abstração noutro de nível inferior. Historicamente o termo surgiu da conversão de um programa escrito numa linguagem de alto nível (*HLL*) para o nível do *assembly.* Contudo, a maior parte dos utilitários atualmente conhecidos como "compiladores" permitem, com uma única linha de comando, passar diretamente do nível HLL para o nível da linguagem máquina, efetuando na realidade 4 tarefas distintas: pré-processamento, compilação, montagem (recorrendo ao *assembler*) e ligação (recorrendo ao *linker*). Uma descrição mais detalhada destas fases encontra-se no texto que acompanha as aulas teóricas: "*Introdução aos Sistemas de Computação"*, Capítulo 3, com material retirado do livro CSAPP.

As diversas versões do manual do compilador de C distribuído pelo projeto GNU, o `gcc`, estão disponíveis *online* em http://www.gnu.org/software/gcc/onlinedocs/, em que a versão disponível na máquina virtual é a 3.2.3. Um sumário muito compacto do manual duma versão do `gcc` é incluído no fim deste guião.

Compile o módulo `soma.c` usando o comando:

```
gcc -Wall –O2 –S soma.c
```

A opção `-Wall` ativa o envio de mensagens de diagnóstico para avisar que existem estruturas de código que imprecisas ou para reportar erros, a opção `-O2` indica ao compilador para usar o nível dois de otimização do código, enquanto a opção `-S` indica que deve parar após gerar o código de montagem *(assembly)*. Este comando gera o ficheiro `soma.s`.

Exercício 3. (TPC) Diga em que formato está representada a informação contida neste novo ficheiro?

Exercício 4. Usando um programa adequado visualize o conteúdo de `soma.s`. Além das mnemónicas das operações, dos nomes dos registos do IA-32 e das constantes numéricas, identifique outros tipos de informação textual existentes no ficheiro e qual o fim a que se destinam.

Exercício 5. (TPC) Este programa (o ficheiro `soma.s`) pode ser executado diretamente pela máquina? Em que nível de abstração se encontra?

3. Montagem (usando o *assembler*)

Utilize o comando:

```
gcc -Wall –O2 –c soma.s
```

para gerar o ficheiro `soma.o`, que contém código binário resultante da montagem do módulo soma.s. A opção –c indica que o processo termina após a montagem. O código binário não pode ser visualizado usando um editor de texto, pois o formato da informação já não é ASCII.

Para visualizar o conteúdo de um ficheiro objeto (binário) pode-se usar um ***debugger*** (depurador) fornecido com o Linux. Neste caso, para se iniciar o processo de depuração, far-se-ia:

```
gdb soma.o
```

Uma vez dentro do depurador, execute o comando:

```
(gdb) x/23xb soma
```

o qual irá e**x**aminar e mostrar (abreviado "**x**") **23** "he**x**-formatted **b**ytes" (abreviado para "**xb**") a partir do início do código da função **`soma`**.

Exercício 6. O que representam os valores que está a visualizar? Explique o comportamento aparentemente anómalo deste último comando.

Exercício 7. (TPC) O programa guardado no ficheiro `soma.o` pode ser executado diretamente pela máquina? Em que nível de abstração se encontra? Obteria o mesmo resultado se se usasse como entrada o ficheiro `soma.c` ?

É possível ainda visualizar o código de montagem a partir do ficheiro objeto, quer dentro do depurador (com o comando **`disass soma`**), quer ainda usando um ***disassembler*** (desmontador) do Linux. Este tem a vantagem de mostrar ainda o código binário para além do código *assembly*.

Assim, abandone o `gdb` (com o comando **`quit`**) e execute o comando:

```
objdump –d soma.o
```

Exercício 8. O ficheiro **`soma.o`** desmontado, deveria conter apenas linhas de código *assembly* da GNU com instruções ISA-32 e respetivos operandos. Contudo, encontra lá ainda outro tipo de informação. Identifique-o e encontre uma explicação para esse texto que lá encontra.

Exercício 9. (TPC) Como está representada a variável `accum`? Porque razão é ela representada desta forma?

Exercício 10. Quantas instruções tem a função `soma`? Quantos *bytes* ocupa cada instrução?

4. Ligação (usando o *linker*) e execução

Para gerar o programa executável é necessário ligar os dois módulos entre si e com quaisquer outras funções de bibliotecas que sejam utilizadas, assim como acrescentar código de interface com o sistema operativo. Este é o papel do *linker*. Execute o comando:

```
gcc -Wall –O2 –o prog prog.c soma.o
```

Exercício 11. O resultado da execução deste comando é colocado no ficheiro `prog`. Usando o comando `file`, diga qual o formato da informação aí contida? Este ficheiro pode ser executado diretamente pela máquina?

Desmonte o programa gerado pelo comando anterior e guarde-o num ficheiro de texto, usando o comando:

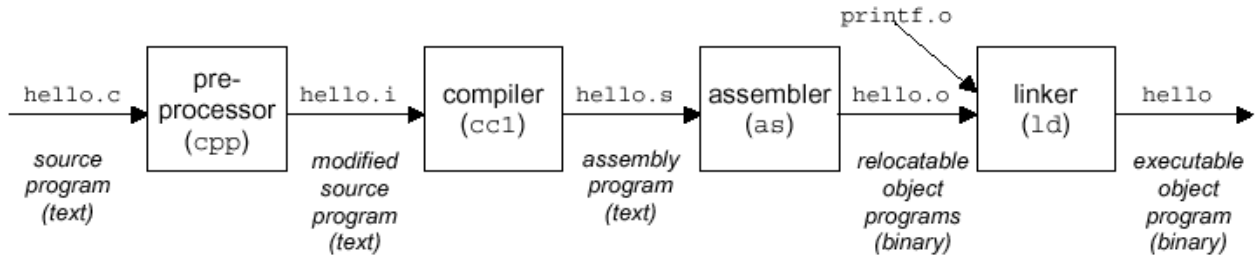
```
objdump –d prog > prog.dump
```

Exercício 12. (TPC) Localize a função `soma` no ficheiro `prog.dump`. Como está representada a variável `accum`?

Exercício 13. Consultando o ficheiro `prog.dump`, indique a ordem pela qual são armazenados em memória os 4 *bytes* correspondentes ao endereço de `accum`: *little-endian* ou *big-endian*? Justifique a sua resposta.

Exercício 14. Como é que a função `main` passa o controlo (invoca) para a função `soma`?

5. Excerto do manual de gcc



GCC(1) GNU Tools GCC(1)

NAME

`gcc` - GNU project C and *C*++ Compiler (gcc-3.2.3)

SYNOPSIS

```
gcc [-c|-S|-E] [-g] [other options] -O2 -o outFile inFile1 inFile2 ...
```

DESCRIPTION

The `gcc` compiler processes input files through one or more of four stages: preprocessing, compilation, assembly, and linking. The ‘‘overall options’’ allow you to stop this process at an intermediate stage.

For any given input file, the file name suffix determines what kind of processing is done:

`file.c` C source code which must be preprocessed, compiled, assembled.

`file.i` C source code which should not be preprocessed, only compiled and assembled.

`file.s` Assembler code that must be assembled.

`file.o` An object file to be passed to the linker. File names with no recognized suffix are treated this way.

OPTIONS

Common Options

`-c` Compile or assemble the source files, but do not link.

`-S` Stop after the stage of compilation proper; do not assemble.

`-E` Stop after the preprocessing stage.

`-g` Produce debugging information that can be used by `gdb`.

`-O2` `gcc` performs nearly all supported optimizations that avoids a space-speed tradeoff.

`-o file` Place output in file *file*; if `-o` is not specified, the default is to put in `a.out`.

C Language Options […]

Warning Options […]

Debugging Options […]

Optimization Options […]

Preprocessor Options […]

Assembler Option […]

Linker Options […]

Machine Dependent Options […]

Nº	Nome:	Turma:

Resolução dos exercícios

Nota: Apresente sempre os cálculos que efetuar; o não cumprimento desta regra equivale à não entrega do trabalho.

1. **Crie** os ficheiros `prog.c` e `soma.c` no servidor remoto.

2. Qual o tamanho de cada um dos ficheiros `prog.c` e `soma.c`? Calcule os tamanhos manualmente **e** confirme os valores com um comando da *shell* do Linux.

3. O ficheiro `soma.s` pode ser executado diretamente pela máquina? Em que nível de abstração se encontra?

5. **Indique (i)** se o programa no ficheiro `soma.s` pode ser executado diretamente pela máquina (justifique a resposta) e **(ii)** em que nível de abstração se encontra.

7. **Indique (i)** se o programa no ficheiro `soma.o` pode ser executado diretamente pela máquina (justifique a resposta) e **(ii)** em que nível de abstração se encontra.

9. Como está representada a variável `accum` no ficheiro `soma.o`? Porque razão é ela representada desta forma?

12. Consultando o ficheiro `prog.dump`, resultante de desmontar o programa executável `prog`, como está representada a variável `accum`?