Trabalho 2 – Programação em *assembly* ARMv7

Este trabalho tem como objetivo desenvolver aptidões de programação e análise de código em *assembly*. Para tal, iremos recorrer à ferramenta VisUAL (`https://salmanarif.bitbucket.io/visual/index.html`), disponível para Windows, Linux e MAC OS.

Neste trabalho, tirando partido daquilo que aprenderam nas aulas sobre operações em vírgula flutuante, deve ser implementado um conjunto de sub-rotinas que irão permitir realizar operações aritméticas sobre números no formato `IEEE-754`.

As secções seguintes descrevem as tarefas do trabalho, devendo ser realizadas pela ordem apresentada. Assumir que todas os operandos (com exceção de 0) estão normalizados.

1 Análise e simulação de um programa em assembly

Considere um programa que multiplica por 2 todos os elementos de uma sequência de números inteiros armazenada em memória. O código `assembly` seguinte é uma possível solução, na qual se inclui uma sequência com 7 números interios para se proceder à respectiva simulação com a ferramenta VisUAL.

```
1  seqA   DCD  3,-5,21,2,-10,50,9   ; sequência
2  tseqA  DCD  7                    ; tamanho da sequência
3
4         ldr  R0, =tseqA           ; carrega endereço do número de elementos
5         ldr  R0, [R0]             ; coloca o número de elementos em R0
6         ldr  R1, =seqA            ; carrega endereço do primeiro elemento
7  ciclo  cmp  R0, #0               ; verifica se chegou ao final
8         beq  fim                  ; termina
9         ldr  R2, [R1]             ; carrega elemento atual
10        lsl  R2, R2, #1           ; multiplica por 2
11        str  R2, [R1]             ; armazena em memória
12        add  R1, R1, #4           ; atualiza endereço para ler próximo elemento
13        sub  R0, R0, #1           ; atualiza o número de elementos a ler
14        b    ciclo
15 fim    END
```

1. Após iniciar o VisUAL escreva o código apresentado anteriormente e grave-o num ficheiro (opção Save no menu superior).
2. Antes de iniciar a simulação, no menu superior selecione a opção Tools → View memory contents.
3. Para simular a execução exitem duas opções:
   - Execute, executa o programa completo;

- Step Forwards, executa uma instrução, de cada vez que clica nesta opção.
- Step Backwards, reverte a execução da última instrução.

Os modos passo-a-passo são mais úteos quando se averigua o funcionamento de um fragmento de código. Em alternativa, no modo Execute podem definir-se pontos de paragem (*breakpoints*) em instruções "estratégicas", onde se pretenda observar o estado de registos e/ou memória, facilitando a depuração de um programa.

4. Responda às seguintes questões:

   (a) Indique o endereço de memória onde está guardado o tamanho da sequência `seqA` (`tseqA`).

   R:

   (b) Qual é a posição de memória do 4º elemento da sequência `seqA`?

   R:

   (c) Quantos bytes ocupa a sequência `seqA` em memória?

   R:

   (d) Quantas vezes é executada a instrução `lsl R2, R2, #1`? (Dica: Use *breakpoints*.)

   R:

   (e) Indique qual ou quais as linhas de código que alteram o valor do registo `R1`. (Dica: Consulte o histórico dos valores do registo.)

   R:

   (f) Indique quais são os valores de `seqA` após a execução do programa.

   R:

   (g) Repita a alínea anterior após alterar o valor de `tseqA` para 3.

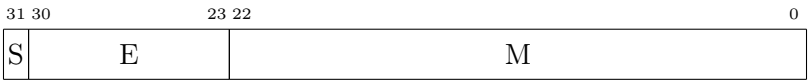
   R:

   (h) Se substituir a instrução `lsl R2, R2, #1` por `lsl R2, R2, #3`, que funcionalidade adquire o programa?

   R:

2 Extração das componentes (sinal, expoente e mantissa) de um número no formato `IEEE 754`

Um número representado no formato `IEEE 754` (precisão simples) é composto por:



Na figura, `S` é o bit de sinal, `E` é o expoente codificado e `M` a parte fracionária da mantissa.

Nesta primeira fase do trabalho serão desenvolvidas três sub-rotinas cada uma com a função de extrair uma das componentes de um número no formato `IEEE-754`. As rotinas devem ter as seguintes caraterísticas:

- A sub-rotina `sinal` deverá receber como argumento um número no formato `IEEE-754` e retornar 1 se o número for negativo ou 0 (zero) caso contrário. Por exemplo, para o valor de entrada `0xc20a0000` o valor de retorno será 1.
- A sub-rotina `expoentereal` deverá receber como argumento um número no formato `IEEE-754` e retornar o respetivo valor real do expoente (deve ter em atenção que o expoente está codificado em excesso 127). Por exemplo, para o valor de entrada `0xc20a0000` o valor de retorno será 5.
- A sub-rotina `mantissa` deverá receber como argumento um número no formato `IEEE-754` e retornar a respetiva mantissa (incluindo a parte inteira implícita). Por exemplo, para o valor de entrada `0xc20a0000` o valor de retorno será $10001010000000000000000_2$.

Para facilitar a implementação das sub-rotinas anteriores deve recorrer à utilização de máscaras. Para isso, pode inicializar a memória de dados com os seguintes valores:

```
Aux DCD 0x7f800000, 0x007fffff, 0x7fffffff
```

3 Realização de adições e subtrações entre dois números no formato IEEE-754

Tirando partido das sub-rotinas desenvolvidas anteriormente, implementar a sub-rotina `soma` que recebe como argumentos 2 números (`NumA` e `NumB`) e retorna o valor da operação `NumA+NumB`.

Para implementar esta rotina pode seguir os seguintes passos:

1. Verificar se um dos argumentos é zero. Caso seja, o resultado será o outro argumento.
2. Calcular diferença de expoentes.
3. Alinhar mantissa do número de menor expoente.
4. Determinar que operação realizar com as mantissas (adição ou subtração) e realizar essa operação.
5. Verificar se é necessário alinhar a mantissa do resultado da operação anterior e corrigir expoente (Dica: para implementar este passo poderá recorrer a uma sub-rotina auxiliar `normaliza` que poderá ser reutilizada em futuras sub-rotinas).
6. Montar o resultado no formato `IEEE-754` precisão simples.

Deve testar a sua sub-rotina com (pelo menos) os seguintes valores:

NumA	NumB	NumA+NumB
0x40900000	0xc0700000	0x3f400000
0x42040000	0xc0380000	0x41F10000
0xc20a0000	0xc1200000	0xC2320000
0xc0380000	0x42040000	0x41F10000
0x420c0000	0x42040000	0x42880000
0x00000000	0xc0380000	0xC0380000
0x83800000	0x00000000	0x83800000
0x40400000	0xc0380000	0x3e000000

Tirando partido da sub-rotina `soma`, implementar a sub-rotina `subtracao`, que recebe como argumentos 2 números (`NumA` e `NumB`) e retorna o valor da operação `NumA-NumB`.

NumA	NumB	NumA-NumB
0x40900000	0xc0700000	0x41040000
0x42040000	0xc0380000	0x420f8000
0xc20a0000	0xc1200000	0xc1c40000
0xc0380000	0x42040000	0xc20f8000
0x420c0000	0x42040000	0x40000000
0x00000000	0xc0380000	0x40380000
0x83800000	0x00000000	0x83800000
0x40400000	0xc0380000	0x40bc0000

4 Realização de multiplicações entre dois números no formato IEEE-754

Tirando novamente partido das sub-rotinas desenvolvidas na secção 2, implementar a sub-rotina `multiplica` que recebe como argumentos 2 números (`NumA` e `NumB`) e retorna o valor da operação `NumA`×`NumB`.

Para implementar esta rotina deverá seguir os seguintes passos:

1. Verificar se um dos argumentos é zero. Caso seja o resultado será zero.
2. Calcular o sinal final.
3. Calcular o expoente final.
4. Multiplicar mantissas.
5. Normalizar o resultado (se necessário).
6. Montar o número final

Como não dispomos de instruções para multiplicar 2 números (que sejam suportadas pela ferramenta VisUAL), uma solução possível seria recorrer a um ciclo que iria realizar somas

sucessivas. No entanto essa solução não é viável para valores grandes, provocando em alguns casos o encravamento do emulador VisUAL. Dee forma a evitar esses casos deverá criar as seguintes sub-rotinas auxiliares para serem utilizadas no passo 4:

- `calcshiftsbits`: Esta rotina recebe como argumentos 2 mantissas (`MNumA` e `MNumB`) e retorna o número máximo de deslocamentos que se pode aplicar a ambos os números sem perda de informação. Por exemplo, se `MNumA`=$10001010000000000000000_2$ e `MNumB`=$10001011000000000000000_2$ o resultado será 16. Isto permite que posteriormente a multiplicação possa ser realizada com valores mais pequenos, neste caso $10001010_2 \times 10001011_2$.
- `peasantmul`: Esta rotina recebe como argumentos duas mantissas (`MNumA` e `MNumB`) (já no seu tamanho reduzido) e retorna o resultado da sua multiplicação recorrendo ao algoritmo do *camponês* (`https://en.wikipedia.org/wiki/Multiplication_algorithm#Peasant_or_binary_multiplication`).

  Este algoritmo consiste na divisão sucessiva de `MNumA` por 2 (`shift right`) e na multiplicação sucessiva do `MNumB` por 2 (`shift left`). Em cada iteração acumula-se o valor de `MNumB` se `MNumA` for ímpar. O algoritmo termina quando o valor de `MNumA` chegar a 1. Por exemplo, se `MNumA`=1011_2 e `MNumB`=11_2 os passos de execução são:

MNumA	MNumB	Acumulador
1011	11	11
101	110	1001
10	~~1100~~	1001
1	11000	**100001**

Testar a sub-rotina com (pelo menos) os seguintes valores:

NumA	NumB	NumA×NumB
0x40900000	0xc0700000	0xC1870000
0x42040000	0xc0380000	0xC2BDC000
0xc20a0000	0xc1200000	0x43AC8000
0xc0380000	0x42040000	0xC2BDC000
0x420c0000	0x42040000	0x44906000
0x00000000	0xc0380000	0x00000000
0x83800000	0x00000000	0x00000000
0x40400000	0xc0380000	0xC10A0000

Fim