PCS3432 - Laboratório de Processadores

Relatório - E2

Bancada B8	
Bruno Mariz	11261826
Roberta Andrade	11260832

2.4 Exercises

These exercises give you a chance to compile, step through, and examine code.

Para o exercício 2.4, utilizamos o código abaixo:

```
    .text
    .globl main

main:
    MOV r0, #15
    MOV r1, #20
    BL firstfunc
    MOV r0, #0x18
    LDR r1, =0x20026
    SWI 0x123456
firstfunc:
    ADD r0, r0, r1
    MOV pc, lr
    .end
```

2.4.1 Compiling, making, debugging, and running

Copy the code from Building a program on page 2-3 into CodeWarrior. There are separate functions in CodeWarrior to compile, make, debug and run a program. Experiment with all four and describe what each does.

```
$ arm build -o a.out ex-2-4.s
$ arm debug a.out
```

```
┌─Register group: general──────────────────────────────────────────────────────────────────────────┐
│r0             0x1                 1                    r1             0xfffeeed4          -69932
│r2             0xfffeeedc          -69924               r3             0x103c8             66504
│r4             0x103ec             66540                r5             0x0                 0
│r6             0x102d8             66264                r7             0x0                 0
│r8             0x0                 0                    r9             0x0                 0
│r10            0xff7ee000          -8462336             r11            0x0                 0
│r12            0xfffeedf8          -70152               sp             0xfffeed80          0xfffeed80
│lr             0xff6657b4          -10070092            pc             0x103c8             0x103c8 <main>
│cpsr           0x60000010          1610612752           fpscr          0x0                 0
│fpsid          0x410430f0          1090793712           fpexc          0x40000000          1073741824
│AMAIR0_S       0x0                 0                    AFSR0_EL1      0x0                 0
┌─ex-2-4.s─────────────────────────────────────────────────────────────────────────────────────────┐
│   1            .text
│   2            .globl main
│   3
│   4        main:
B+>5            MOV r0, #15
│   6            MOV r1, #20
│   7            BL firstfunc
│   8            MOV r0, #0x18
│   9            LDR r1, =0x20026
│   10           SWI 0x123456
│   11       firstfunc:
└──────────────────────────────────────────────────────────────────────────────────────────────────┘
remote Thread 1.6298 In: main                                                        L5    PC: 0x103c8
(gdb)
```

2.4.2 Stepping and stepping in

Debug the code from Building a program on page 2-3. Instead of running the code, step all the way through the code using both the step method and the step in method. What is the difference between the two methods of stepping through the assembly code?

Quando a função step in (executada com s ou step) encontra uma chamada de função, ela entra nela e permite a execução de cada uma de suas instruções individualmente, como pode ser observado no print abaixo:

```
┌─Register group: general──────────────────────────────────────────────────────────────────────────┐
│r0             0xf                 15                   r1             0x14                20
│r2             0xfffeeedc          -69924               r3             0x103c8             66504
│r4             0x103ec             66540                r5             0x0                 0
│r6             0x102d8             66264                r7             0x0                 0
│r8             0x0                 0                    r9             0x0                 0
│r10            0xff7ee000          -8462336             r11            0x0                 0
│r12            0xfffeedf8          -70152               sp             0xfffeed80          0xfffeed80
│lr             0x103d4             66516                pc             0x103e0             0x103e0 <firstfunc>
│cpsr           0x60000010          1610612752           fpscr          0x0                 0
│fpsid          0x410430f0          1090793712           fpexc          0x40000000          1073741824
│AMAIR0_S       0x0                 0                    AFSR0_EL1      0x0                 0
┌─ex-2-4.s─────────────────────────────────────────────────────────────────────────────────────────┐
│   8            MOV r0, #0x18
│   9            LDR r1, =0x20026
│   10           SWI 0x123456
│   11       firstfunc:
│  >12           ADD r0, r0, r1
│   13           MOV pc, lr
│   14           .end
└──────────────────────────────────────────────────────────────────────────────────────────────────┘
remote Thread 1.6298 In: firstfunc                                                   L12   PC: 0x103e0
(gdb) s
(gdb) s
(gdb) s
firstfunc () at ex-2-4.s:12
(gdb)
```

Já a função step, (executada com n ou next) quando encontra uma função, executa todas suas instruções ininterruptamente, e exibe a instrução seguinte, como observado no print abaixo:

```
—Register group: general———————————————————————————————————————————————————————————————————————
r0             0x23                35                     r1             0x14                20
r2             0xfffeeedc          -69924                 r3             0x103c8             66504
r4             0x103ec             66540                  r5             0x0                 0
r6             0x102d8             66264                  r7             0x0                 0
r8             0x0                 0                      r9             0x0                 0
r10            0xff7ee000          -8462336               r11            0x0                 0
r12            0xfffeedf8          -70152                 sp             0xfffeed80          0xfffeed80
lr             0x103d4             66516                  pc             0x103d4             0x103d4 <main+12>
cpsr           0x60000010          1610612752             fpscr          0x0                 0
fpsid          0x410430f0          1090793712             fpexc          0x40000000          1073741824
AMAIR0_S       0x0                 0                      AFSR0_EL1      0x0                 0
—ex-2-4.s———————————————————————————————————————————————————————————————————————————————————————
   1                .text
   2                .globl main
   3
   4            main:
B+ 5                MOV r0, #15
   6                MOV r1, #20
   7                BL firstfunc
  >8                MOV r0, #0x18
   9                LDR r1, =0x20026
   10               SWI 0x123456
   11           firstfunc:

remote Thread 1.8131 In: main                                                       L8    PC: 0x103d4
(gdb) b main
Ponto de parada 1 at 0x103c8: file ex-2-4.s, line 5.
(gdb) c
Continuing.

Breakpoint 1, main () at ex-2-4.s:5
(gdb) n
(gdb) n
(gdb) n
(gdb) █
```

2.4.3 Data formats

Sometimes it is very useful to view registers in different formats to check results more efficiently. Run the code from Building a program on page 2-3. Upon completion, view the different formats of r0 and record your results. Specifically, view the data in hexadecimal, decimal, octal, binary, and ASCII.

Como solicitado no enunciado, foram executados os comandos p/x $r0, que exibe o valor hexadecimal, p/t $r0, que exibe o valor binario de r0,p/o $r0, que exibe o valor octal de r0,p/d $r0, que exibe o valor decimal de r0, p/c $r0, que exibe o valor em ASCII de r0.

```
—Register group: general———————————————————————————————————————————————————————————————————————
r0             0xf                 15                     r1             0xfffeeed4          -69932
r2             0xfffeeedc          -69924                 r3             0x103c8             66504
r4             0x103ec             66540                  r5             0x0                 0
r6             0x102d8             66264                  r7             0x0                 0
r8             0x0                 0                      r9             0x0                 0
r10            0xff7ee000          -8462336               r11            0x0                 0
r12            0xfffeedf8          -70152                 sp             0xfffeed80          0xfffeed80
lr             0xff6657b4          -10070092              pc             0x103cc             0x103cc <main+4>
cpsr           0x60000010          1610612752             fpscr          0x0                 0
fpsid          0x410430f0          1090793712             fpexc          0x40000000          1073741824
AMAIR0_S       0x0                 0                      AFSR0_EL1      0x0                 0
—ex-2-4.s———————————————————————————————————————————————————————————————————————————————————————
   1                .text
   2                .globl main
   3
   4            main:
B+ 5                MOV r0, #15
  >6                MOV r1, #20
   7                BL firstfunc
   8                MOV r0, #0x18
   9                LDR r1, =0x20026
   10               SWI 0x123456
   11           firstfunc:

remote Thread 1.9879 In: main                                                       L6    PC: 0x103cc
(gdb) s
(gdb) p/x $r0
$1 = 0xf
(gdb) p/t $r0
$2 = 1111
(gdb) p/o $r0
$3 = 017
(gdb) p/d $r0
$4 = 15
(gdb) p/c $r0
$5 = 15 '\017'
(gdb) █
```

3.10.1 Signed and unsigned addition

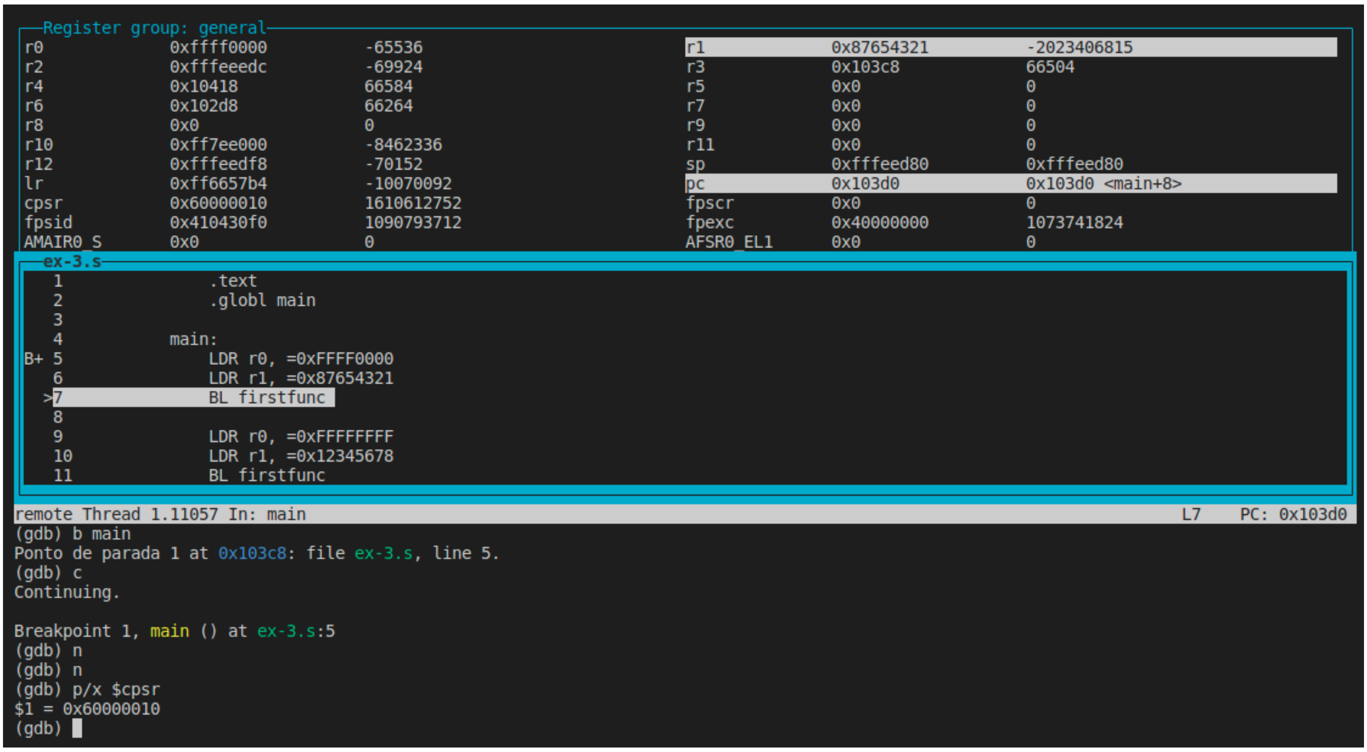
For the following values of A and B, predict the values of the N, Z, V and C flags produced by performing the operation A + B. Load these values into two ARM registers and modify the program created in Building a program on page 2-3 to perform an addition of the two registers. Using the debugger, record the flags after each addition and compare those results with your predictions. When the data values are signed numbers, what do the flags mean? Does their meaning change when the data values are unsigned numbers?

0xFFFF0000	0xFFFFFFFF	0x67654321	(A)
+ 0x87654321	+ 0x12345678	+ 0x23110000	(B)

```
    .text
    .globl main

main:
    LDR r0, =0xFFFF0000
    LDR r1, =0x87654321
    BL firstfunc

    LDR r0, =0xFFFFFFFF
    LDR r1, =0x12345678
    BL firstfunc

    LDR r0, =0x67654321
    LDR r1, =0x23110000
    BL firstfunc

    MOV r0, #0x18
    LDR r1, =0x20026
    SWI 0x123456
firstfunc:
    ADDS r0, r0, r1
    MOV pc, lr
    .end
```

O código acima foi executado com o debugger, e o estado do cpsr foi registrado nas etapas a seguir:

Antes da primeira soma, o cpsr continha um valor aleatório.




```
(gdb) p/x $cpsr
$1 = 0x60000010
```

Após a primeira soma, o cpsr continha o valor 1010.

N	Z	C	V
1	0	1	0

A partir dessas flags, podemos averiguar que o resultado foi negativo, não foi nulo, a operação produziu um carry out, e a operação não resultou em overflow.

```
Register group: general
r0             0x87644321          -2023472351                       r1             0x87654321          -2023406815
r2             0xfffeeedc          -69924                            r3             0x103c8             66504
r4             0x10418             66584                             r5             0x0                 0
r6             0x102d8             66264                             r7             0x0                 0
r8             0x0                 0                                 r9             0x0                 0
r10            0xff7ee000          -8462336                          r11            0x0                 0
r12            0xfffeedf8          -70152                            sp             0xfffeed80          0xfffeed80
lr             0x103d4             66516                             pc             0x103d4             0x103d4 <main+12>
cpsr           0xa0000010          -1610612720                       fpscr          0x0                 0
fpsid          0x410430f0          1090793712                        fpexc          0x40000000          1073741824
AMAIR0_S       0x0                 0                                 AFSR0_EL1      0x0                 0
ex-3.s
   1                .text
   2                .globl main
   3
   4            main:
B+ 5                LDR r0, =0xFFFF0000
   6                LDR r1, =0x87654321
   7                BL firstfunc
   8
  >9                LDR r0, =0xFFFFFFFF
   10               LDR r1, =0x12345678
   11               BL firstfunc
remote Thread 1.11057 In: main                                                                        L9    PC: 0x103d4
(gdb) c
Continuing.

Breakpoint 1, main () at ex-3.s:5
(gdb) n
(gdb) n
(gdb) p/x $cpsr
$1 = 0x60000010
(gdb) n
(gdb) p/x $cpsr
$2 = 0xa0000010
(gdb)
```

```
(gdb) p/x $cpsr
$2 = 0xa0000010
```

Estado antes da segunda soma:

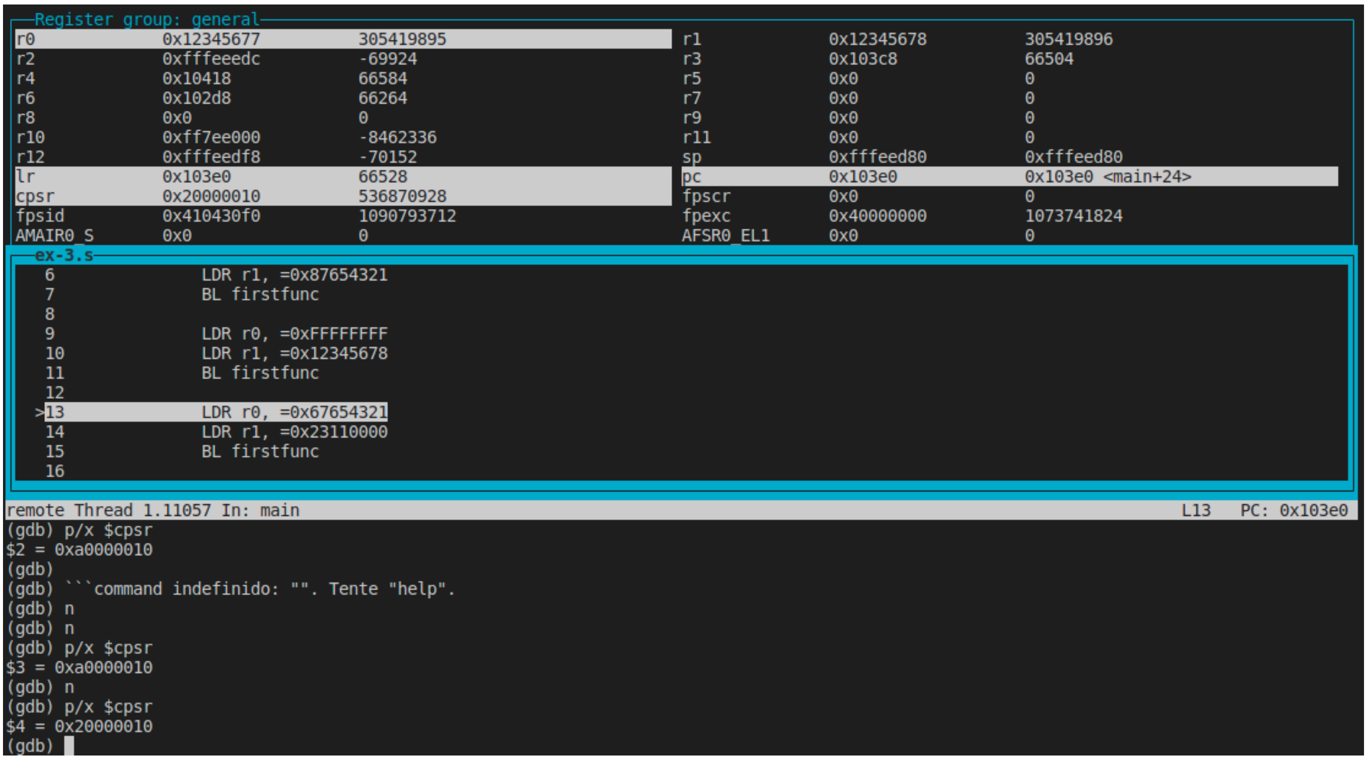
```
Register group: general
r0             0xffffffff          -1                                r1             0x12345678          305419896
r2             0xfffeeedc          -69924                            r3             0x103c8             66504
r4             0x10418             66584                             r5             0x0                 0
r6             0x102d8             66264                             r7             0x0                 0
r8             0x0                 0                                 r9             0x0                 0
r10            0xff7ee000          -8462336                          r11            0x0                 0
r12            0xfffeedf8          -70152                            sp             0xfffeed80          0xfffeed80
lr             0x103d4             66516                             pc             0x103dc             0x103dc <main+20>
cpsr           0xa0000010          -1610612720                       fpscr          0x0                 0
fpsid          0x410430f0          1090793712                        fpexc          0x40000000          1073741824
AMAIR0_S       0x0                 0                                 AFSR0_EL1      0x0                 0
ex-3.s
   6                LDR r1, =0x87654321
   7                BL firstfunc
   8
   9                LDR r0, =0xFFFFFFFF
   10               LDR r1, =0x12345678
  >11               BL firstfunc
   12
   13               LDR r0, =0x67654321
   14               LDR r1, =0x23110000
   15               BL firstfunc
   16
remote Thread 1.11057 In: main                                                                        L11   PC: 0x103dc
(gdb) p/x $cpsr
$1 = 0x60000010
(gdb) n
(gdb) p/x $cpsr
$2 = 0xa0000010
(gdb)
(gdb) ```command indefinido: "". Tente "help".
(gdb) n
(gdb) n
(gdb) p/x $cpsr
$3 = 0xa0000010
(gdb)
```

```
(gdb) p/x $cpsr
$3 = 0xa0000010
```

Após a segunda soma, o cpsr continha o valor 0010.

N	Z	C	V
0	0	1	0

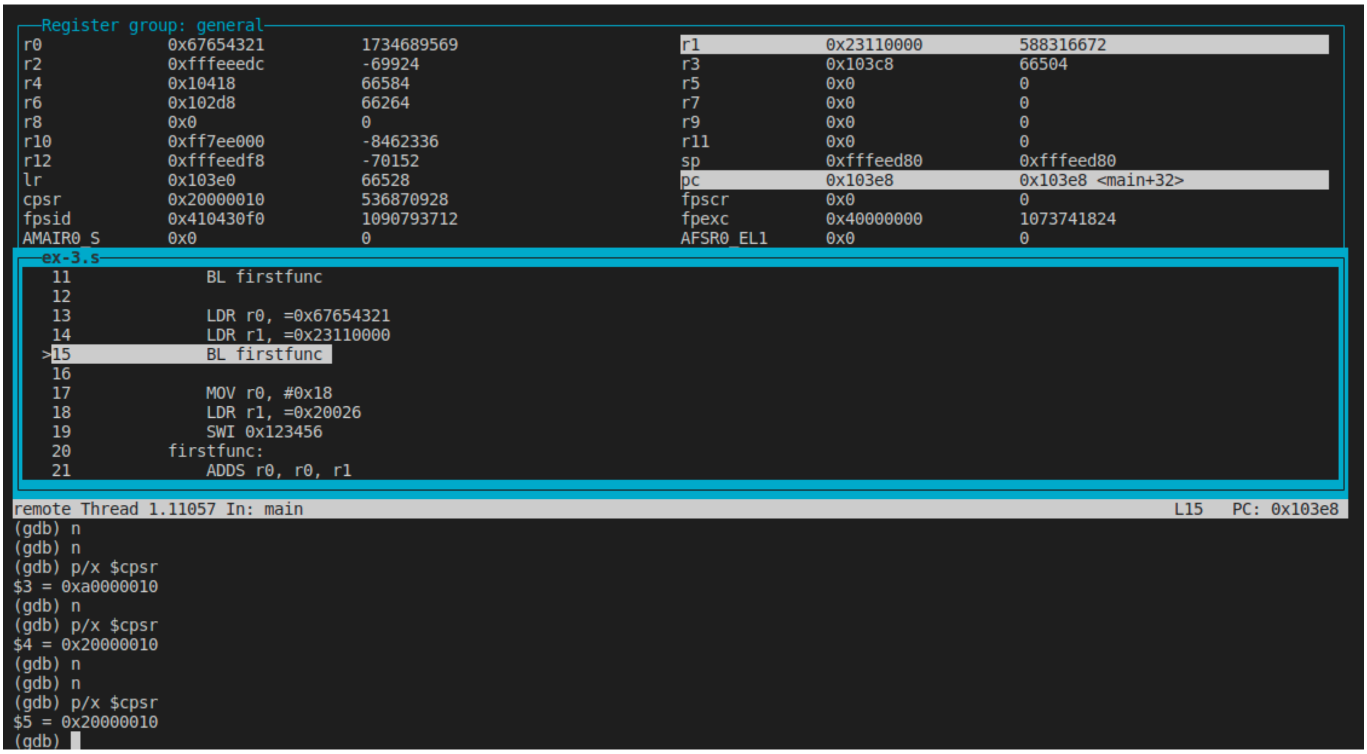
A partir dessas flags, podemos averiguar que o resultado foi negativo, não foi nulo, a operação produziu um carry out, e a operação não resultou em overflow, como esperado após a soma de dois números de sinais diferentes.



```
Register group: general
r0             0x12345677          305419895            r1             0x12345678          305419896
r2             0xfffeeedc          -69924               r3             0x103c8             66504
r4             0x10418             66584                r5             0x0                 0
r6             0x102d8             66264                r7             0x0                 0
r8             0x0                 0                    r9             0x0                 0
r10            0xff7ee000          -8462336             r11            0x0                 0
r12            0xfffeedf8          -70152               sp             0xfffeed80          0xfffeed80
lr             0x103e0             66528                pc             0x103e0             0x103e0 <main+24>
cpsr           0x20000010          536870928            fpscr          0x0                 0
fpsid          0x410430f0          1090793712           fpexc          0x40000000          1073741824
AMAIR0_S       0x0                 0                    AFSR0_EL1      0x0                 0
ex-3.s
    6               LDR r1, =0x87654321
    7               BL firstfunc
    8
    9               LDR r0, =0xFFFFFFFF
    10              LDR r1, =0x12345678
    11              BL firstfunc
    12
   >13              LDR r0, =0x67654321
    14              LDR r1, =0x23110000
    15              BL firstfunc
    16
remote Thread 1.11057 In: main                                                          L13   PC: 0x103e0
(gdb) p/x $cpsr
$2 = 0xa0000010
(gdb)
(gdb) ```command indefinido: "". Tente "help".
(gdb) n
(gdb) n
(gdb) p/x $cpsr
$3 = 0xa0000010
(gdb) n
(gdb) p/x $cpsr
$4 = 0x20000010
(gdb)
```

```
(gdb) p/x $cpsr
$4 = 0x20000010
```

Estado antes da terceira soma:



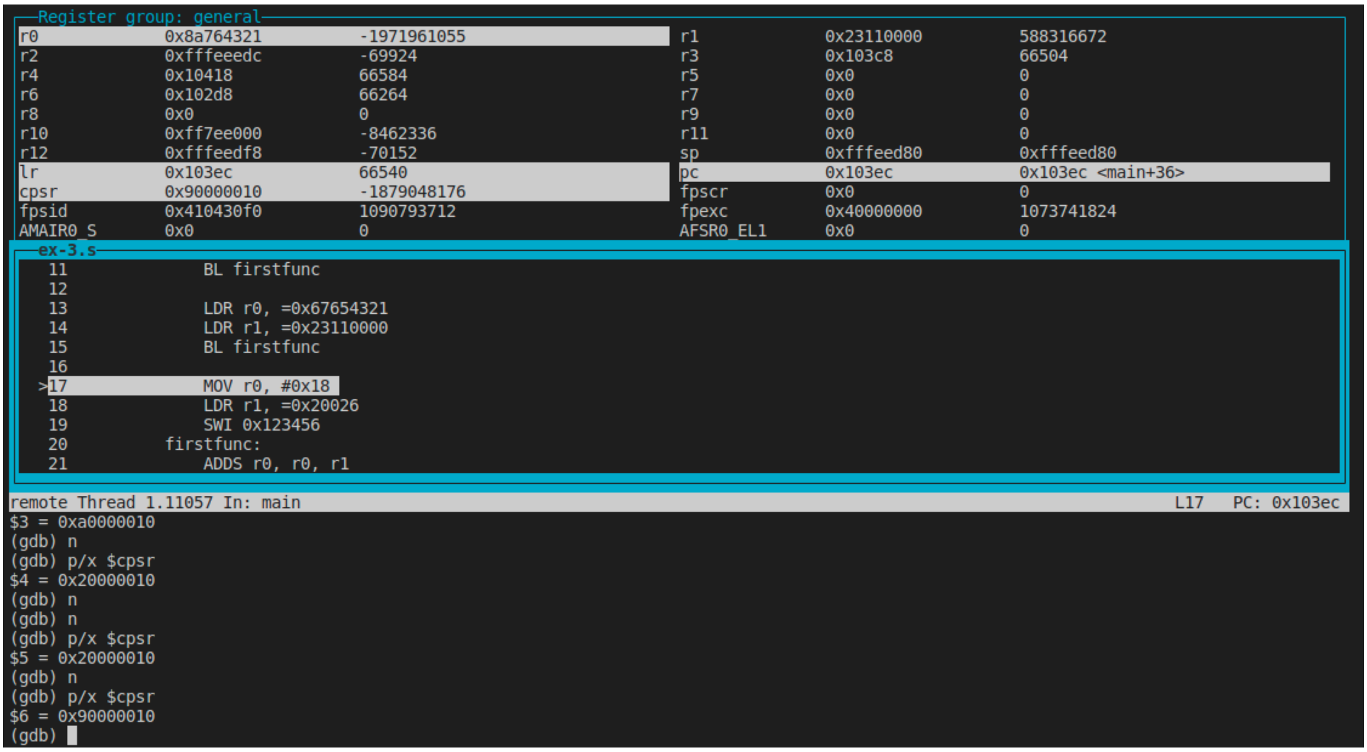
```
Register group: general
r0        0x67654321    1734689569          r1        0x23110000    588316672
r2        0xfffeeedc    -69924              r3        0x103c8       66504
r4        0x10418       66584               r5        0x0           0
r6        0x102d8       66264               r7        0x0           0
r8        0x0           0                   r9        0x0           0
r10       0xff7ee000    -8462336            r11       0x0           0
r12       0xfffeedf8    -70152              sp        0xfffeed80    0xfffeed80
lr        0x103e0       66528               pc        0x103e8       0x103e8 <main+32>
cpsr      0x20000010    536870928           fpscr     0x0           0
fpsid     0x410430f0    1090793712          fpexc     0x40000000    1073741824
AMAIR0_S  0x0           0                   AFSR0_EL1 0x0           0
ex-3.s
   11          BL firstfunc
   12
   13          LDR r0, =0x67654321
   14          LDR r1, =0x23110000
  >15          BL firstfunc
   16
   17          MOV r0, #0x18
   18          LDR r1, =0x20026
   19          SWI 0x123456
   20      firstfunc:
   21          ADDS r0, r0, r1
remote Thread 1.11057 In: main                                        L15   PC: 0x103e8
(gdb) n
(gdb) n
(gdb) p/x $cpsr
$3 = 0xa0000010
(gdb) n
(gdb) p/x $cpsr
$4 = 0x20000010
(gdb) n
(gdb) n
(gdb) p/x $cpsr
$5 = 0x20000010
(gdb)
```

```
(gdb) p/x $cpsr
$5 = 0x20000010
```

Após a terceira soma, o cpsr continha o valor 1001.

N	Z	C	V
1	0	0	1

A partir dessas flags, podemos averiguar que o resultado foi negativo, não foi nulo, a operação não produziu um carry out, e a operação resultou em overflow, já que a soma de dois números positivos resultou em um número negativo.




```
(gdb) p/x $cpsr
$6 = 0x90000010
```

3.10.2 Multiplication

Change the ADD instruction in the example code from Building a program on page 2-3 to a MULS. Also change one of the operand registers so that the source registers are different from the destination register, as the convention for multiplication instructions requires. Put 0xFFFFFFFF and 0x80000000 into the source registers. Now rerun your program and check the result.

1. Does your result make sense? Why or why not?

Código utilizado:

```
    .text
    .globl main

main:
    LDR r0, =0xFFFFFFFF
    LDR r1, =0x80000000
    BL firstfunc

    MOV r0, #0x18
    LDR r1, =0x20026
    SWI 0x123456
firstfunc:
    MULS r2, r0, r1
```

```
    MOV pc, lr
    .end
```

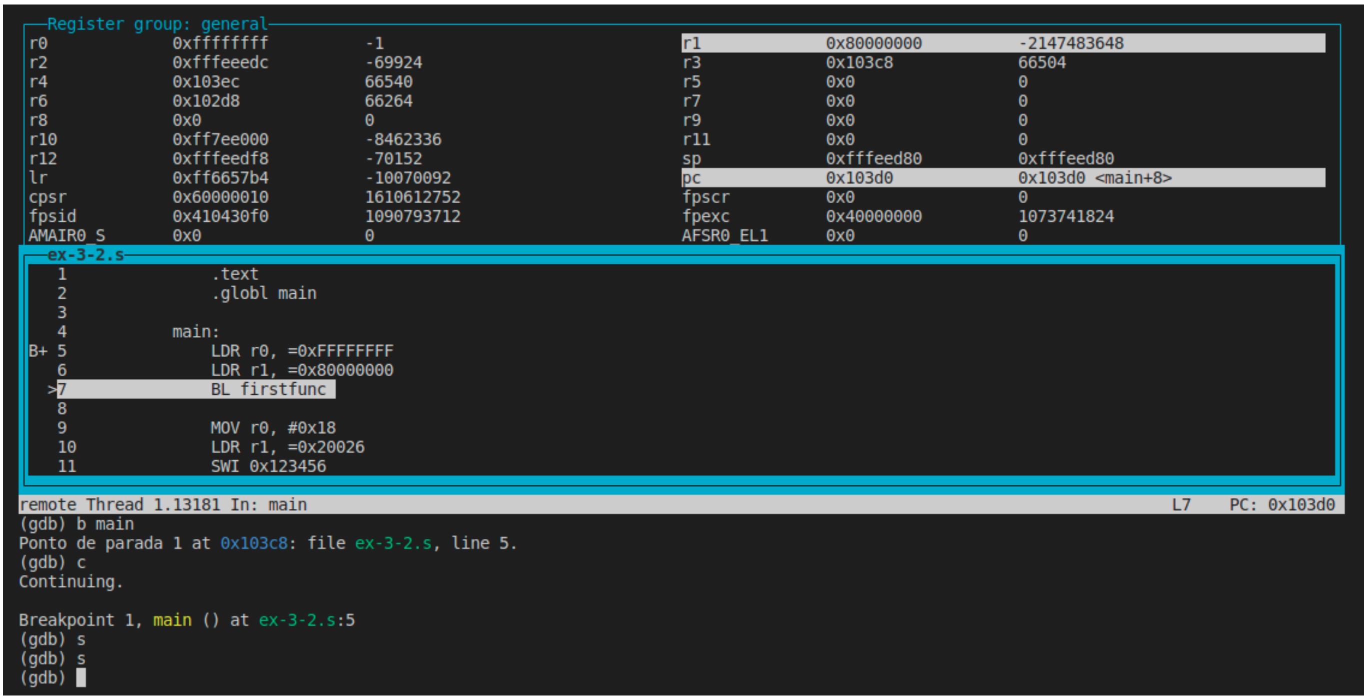
Após executar a operação de multiplicação, o resultado não atendeu às nossas expectativas, uma vez que esperávamos que uma multiplicação entre -1 (decimal) e -2147483648 (decimal) resultasse na inversão do sinal do segundo número e isso não aconteceu. O resultado obtido foi exatamente o valor do r1.

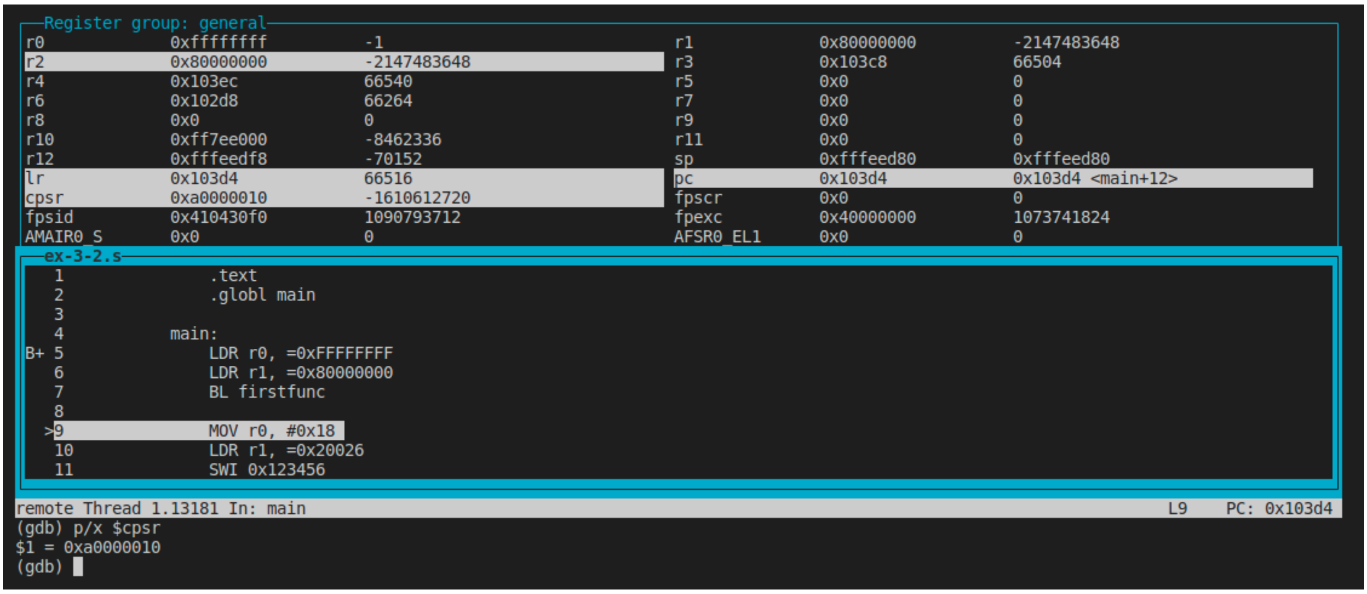
No entanto, isso faz sentido, pois a multiplicação de dois números de 32 bits resulta em um número de 64 bits. Portanto, o bit indicativo do sinal do resultado da multiplÍcação estaria na 64ª posição (primeiro da sequência), que não aparece no registrador r2 que possui 32 bits.

O cpsr após a multiplicação foi de:

N	Z	C	V
1	0	1	0

A partir dessas flags, podemos averiguar que o resultado foi negativo, não foi nulo, a operação produziu um carry out, e a operação não resultou em overflow.





2. Assuming that these two numbers are signed integers, is it possible to overflow in this case?

Levando em consideração que se trata de uma multiplicação do contaúdo de dois registradores de 32 bits, o resultado não poderá ultrapassar os 64 bits. Como a instrução MUL trunca o resultado para 32 bits, não ocorre overflow nunca. De qualquer forma, o resultado da multiplicação mostrado no registrador pode ser incondizente com o valor esperado, em casos em que a soma dos bits dos parâmetros é maior que 32.

3. Why is there a need for two separate long multiply instructions, UMULL and SMULL? Give an example to support your answer.

Código utilizado:

```
    .text
    .globl main

main:
    LDR r2, =0xFFFFFFFF
    LDR r3, =0x00000010
    BL firstfunc
    BL secondfunc


    MOV r0, #0x18
    LDR r1, =0x20026
    SWI 0x123456
firstfunc:
    SMULL r4, r8, r2, r3
    MOV pc, lr
secondfunc:
    UMULL r4, r8, r2, r3
    MOV pc, lr

    .end
```

Após rodar SMULL entre os registradores r2 = 0xFFFFFFFF e r3 = 0x10, foi obtido o resultado -16 combinando o conteúdo dos registradores r8 = 0xFFFFFFFF (bits mais significativos) e r4 = 0xFFFFFFF0 (bits menos significativos):

```
Register group: general
r0             0x1                 1                    r1             0xfffeec74          -70540
r2             0xffffffff          -1                   r3             0x10                16
r4             0xfffffff0          -16                  r5             0x0                 0
r6             0x102d8             66264                r7             0x0                 0
r8             0xffffffff          -1                   r9             0x0                 0
r10            0xff7ee000          -8462336             r11            0x0                 0
r12            0xfffeeb98          -70760               sp             0xfffeeb20          0xfffeeb20
lr             0x103d4             66516                pc             0x103e8             0x103e8 <firstfunc+4>
ex-3-2-3.s
   13              LDR r1, =0x20026
   14              SWI 0x123456
   15          firstfunc:
   16              SMULL r4, r8, r2, r3
  >17              MOV pc, lr
   18          secondfunc:
   19              UMULL r4, r8, r2, r3
   20              MOV pc, lr
   21
remote Thread 1.174103 In: firstfunc                                                L17   PC: 0x103e8
(gdb) c
Continuing.

Breakpoint 1, main () at ex-3-2-3.s:6
(gdb) s
(gdb) s
(gdb) s
firstfunc () at ex-3-2-3.s:16
(gdb) s
(gdb)
```

Já após rodar a instrução UMULL com os mesmos parâmetros, o resultado combinado dos registradores de resultado r8 e r4 foi de 0xFFFFFFFF0, que corresponde à multiplicação sem sinal dos parâmetros.

```
Register group: general
r0             0x1                 1                    r1             0xfffeec74          -70540
r2             0xffffffff          -1                   r3             0x10                16
r4             0xfffffff0          -16                  r5             0x0                 0
r6             0x102d8             66264                r7             0x0                 0
r8             0xf                 15                   r9             0x0                 0
r10            0xff7ee000          -8462336             r11            0x0                 0
r12            0xfffeeb98          -70760               sp             0xfffeeb20          0xfffeeb20
lr             0x103d8             66520                pc             0x103f0             0x103f0 <secondfunc+4>
ex-3-2-3.s
   16              SMULL r4, r8, r2, r3
   17              MOV pc, lr
   18          secondfunc:
   19              UMULL r4, r8, r2, r3
  >20              MOV pc, lr
   21
   22              .end
remote Thread 1.174103 In: secondfunc                                               L20   PC: 0x103f0
(gdb) s
secondfunc () at ex-3-2-3.s:19
(gdb) s
(gdb) p/x r8
No symbol "r8" in current context.
(gdb) p/x $r8
$1 = 0xf
(gdb) p/t $r8
$2 = 1111
(gdb)
```

Portanto, é necessário haver instruções diferentes para os casos em que é necessário realizar multiplicações contabilizando ou não o sinal.

3.10.3 Multiplication shortcuts

Assume that you have a microprocessor that takes up to eight cycles to perform a multiplication. To save cycles in your program, construct an ARM instruction that performs a multiplication by 32 in a single cycle.

Para realizar uma multiplicação por 32 em um único ciclo basta realizar um shift de 5 bits:

```
MOV r0, #15
LSL r4, r0, #5
```

Nesse caso, o registrador r4 será igual a 32 * r0 = 480.

3.10.4 Register-swap algorithm

The EOR instruction is a fast way to swap the contents of two registers without using an intermediate storage location such as a memory location or another register. Suppose two values A and B are to be exchanged. The following algorithm could be used:

$A = A \oplus B$

$B = A \oplus B$

$A = A \oplus B$

Write the ARM code to implement the above algorithm, and test it with the values of A = 0xF631024C and B = 0x17539ABD. Show your instructor the contents before and after the program has run.

Código utilizado:

```
    .text
    .globl  main
main:
    LDR r1, =0xF631024C
    LDR r2, =0x17539ABD
    BL  firstfunc
    MOV r0, #0x18
    SWI 0x0
firstfunc:
    EOR r1, r1, r2
    EOR r2, r1, r2
    EOR r1, r1, r2
    MOV pc, lr
```

Estado dos registradores antes de rodar a função:

```
Register group: general
r0             0x1                 1                    r1             0xf631024c          -164560308
r2             0x17539abd          391355069            r3             0x103c8             66504
r4             0x103f4             66548                r5             0x0                 0
r6             0x102d8             66264                r7             0x0                 0
r8             0x0                 0                    r9             0x0                 0
r10            0xff7ee000          -8462336             r11            0x0                 0
r12            0xfffeeb98          -70760               sp             0xfffeeb20          0xfffeeb20
lr             0xff65f7b4          -10094668            pc             0x103d0             0x103d0 <main+8>
3-10-4.s
   2                .text
   3                .globl  main
   4        main:
B+ 5                LDR     r1, =0xF631024C
   6                LDR     r2, =0x17539ABD
  >7                BL      firstfunc
   8                MOV     r0, #0x18
   9                SWI     0x0
  10        firstfunc:
remote Thread 1.177270 In: main                                                          L7    PC: 0x103d0
(gdb) b main
Breakpoint 1 at 0x103c8: file 3-10-4.s, line 5.
(gdb) c
Continuing.

Breakpoint 1, main () at 3-10-4.s:5
(gdb) s
(gdb) s
(gdb)
```

Estado dos registradores após rodar a função:

```
Register group: general
r0             0x1                 1                    r1             0x17539abd          391355069
r2             0xf631024c          -164560308           r3             0x103c8             66504
r4             0x103f4             66548                r5             0x0                 0
r6             0x102d8             66264                r7             0x0                 0
r8             0x0                 0                    r9             0x0                 0
r10            0xff7ee000          -8462336             r11            0x0                 0
r12            0xfffeeb98          -70760               sp             0xfffeeb20          0xfffeeb20
lr             0x103d4             66516                pc             0x103d4             0x103d4 <main+12>
3-10-4.s
   2                .text
   3                .globl  main
   4        main:
B+ 5                LDR     r1, =0xF631024C
   6                LDR     r2, =0x17539ABD
   7                BL      firstfunc
  >8                MOV     r0, #0x18
   9                SWI     0x0
  10        firstfunc:
remote Thread 1.177270 In: main                                                          L8    PC: 0x103d4
(gdb) b main
Breakpoint 1 at 0x103c8: file 3-10-4.s, line 5.
(gdb) c
Continuing.

Breakpoint 1, main () at 3-10-4.s:5
(gdb) s
(gdb) s
(gdb) n
(gdb)
```

É possível observar que os registradores r1 e r2 foram trocados após a execução da função.

Isso acontece pois $x \oplus x = 0$, portanto

$a = a \oplus b$

$b = a \oplus b$, que equivale a: $a \oplus b \oplus b = a$

$a = a \oplus b$, que equivale a: $a \oplus b \oplus a = b$