

## arquitetura de computadores

UTFPR – DAELN – Engenharia de Computação/Eletrônica  
prof. Juliano; prof. Rafael

### µProcessador 5 “Calculadora Programável”

rev 4b1

Partindo da ROM, PC, UC, ULA e Banco de Registradores dos laboratórios anteriores, executar um programa para executar uma lista de instruções aritméticas.

Implemente apenas instruções da ULA, de carga de constantes, transferência de valores entre registradores, salto incondicional e *nop*; outras instruções ficam para depois.

**Sugestão:** pra agilizar o *debug*, que pode começar a ficar tedioso, faça um *script* (no *bash* ou um *.bat*) ou *makefile* para compilar e simular, e use um arquivo para a lista de sinais do *gtkwave* como mencionado no laboratório #3.

### Contadores em VHDL

Uma máquina de estados simples é apenas um contador. Em VHDL, ele é similar a um registrador:

```
library ieee;
use ieee.std_logic_1164.all;
use ieee.numeric_std.all;

entity maq_estados is
  port( clk,rst: in std_logic;
        estado: out unsigned(1 downto 0)
  );
end entity;

architecture a_maq_estados of maq_estados is
  signal estado_s: unsigned(1 downto 0);
begin
  process(clk,rst)
  begin
    if rst='1' then
      estado_s <= "00";
    elsif rising_edge(clk) then
      if estado_s="10" then          -- se agora esta em 2
        estado_s <= "00";          -- o prox vai voltar ao zero
      else
        estado_s <= estado_s+1;    -- senao avanca
      end if;
    end if;
  end process;
  estado <= estado_s;
end architecture;
```

O código acima produz uma contagem de 0 a 2. Reproduza-o *ipsis literis*<sup>1</sup>, não invente mudanças.

Perceba a comparação para o fim da contagem: primeiro vem “if estado\_s=“10” then” e só depois há o incremento. Não tente incrementar antes e comparar

1 Ou seja, absolutamente idêntico.

com “11” depois.<sup>2</sup> Deste jeito aqui facilita.

Se quiser fazer uma máquina com transições condicionais, como no multiciclo do livro, há um pdf no *site* que descreve como fazer uma máquina de Moore, que é uma solução geralmente mais difícil de fazer funcionar. Você pode até usar, mas tenha certeza de *pensar bem, cuidadosamente*, na solução que está tentando implementar; daí rola.

## Implementação

Sugiro fazer uma máquina de 3 estados: *fetch*, *decode* e *execute*, embora usar 2 já seria o suficiente neste lab<sup>3</sup>. O resto do trabalho é decodificar as instruções e gerar os sinais adequados para cada uma; e ligar todos os componentes seguindo aproximadamente o esquema do livro-texto.

A especificação do processador a implementar, larguras de bits e etc. estão no documento da prática anterior, no meu *site*.

As instruções a serem codificadas são aquelas escolhidas pela equipe na semana passada. É obrigatório estas instruções *exatas* (não “quase iguais”) estarem presentes no *assembly* do processador escolhido pela equipe.

O formato de instruções e *opcodes* deverá ser decidido, implementado e documentado num arquivo à parte. É permitido mudar os formatos de instrução (*opcodes*) em laboratórios posteriores.

## Testes

Na versão final entregue, os pinos visíveis no *top level*, visualizados no *gtkwave*, devem ser:

- reset;
- clock;
- estado;
- PC;
- instrução (saída da ROM);
- saídas do banco de registradores (valores de Reg1 e Reg2);
- saída da ULA.

Pode usar outros pinos durante a implementação e a fase de *debug*, mas retire-os para a entrega.

Também espero que você teste vários programas durante o desenvolvimento mas, para a entrega, o *testbench* e a ROM devem estar configurados para executar um programa que faz o seguinte:

1. Carrega R3 (o registrador 3) com o valor 5
2. Carrega R4 com 8
3. Soma R3 com R4 e guarda em R5
4. Subtrai 1 de R5
5. Salta para o endereço 20
6. No endereço 20, copia R5 para R3
7. Salta para a terceira instrução desta lista ( $R5 \leq R3 + R4$ )

O programa deverá ser documentado no projeto, no arquivo da ROM.

- 2 O “signal” só vai ser atualizado ao final do ciclo de simulação (o “end process;”), então deve-se comparar com o valor original, ainda não atualizado. Para atualizações imediatas, deve-se usar “variable”, que possui sintaxe levemente diferente. Evite estas complicações se possível.
- 3 Você pode alterar isso depois, mas se quiser usar já mais estados (a RAM pode ficar mais fácil com 4 estados, p. ex.), fique à vontade.

## Arquivos a Entregar via Moodle (pacote Zip, mais detalhes na tarefa)

- Todos os fontes .vhd e os testbenches *Eqxx\_modulo\_tb.vhd* respectivos, compactados num arquivo só (o testbench principal (*top-level*) deverá ser chamado "*Eqxx-processador\_tb.vhd*");
- *Datasheet* (manual) do processador escolhido em pdf (ou o link se for muito grande);
- Páginas do manual com as instruções escolhidas em destaque, em pdf.
- Especificação da codificação das instruções em .txt ou .pdf (planilha ou texto);
- Código *assembly* e codificação na ROM para o programa-teste pedido (pode estar apenas dentro do arquivo "*Eqxx-rom.vhd*" se você desejar, ou num arquivo à parte); repetindo: *eu quero as instruções em assembly, não apenas os opcodes*

As páginas que descrevem as instruções implementadas, com destaque se necessário, devem ser entregues à parte. Por exemplo:

168 PRELIMINARY DATA Instruction set summary

Item	Format	Description
T bit	Value of T bit after instruction execution	—: No change

Table 37: Notation used in instruction list

Note: Scaling ( $\times 1$ ,  $\times 2$ ,  $\times 4$ , or  $\times 8$ ) is executed according to the size of the instruction operand(s).

Instruction	Operation	Instruction code	Privileged	T bit
MOV #imm,Rn	imm $\rightarrow$ sign extension $\rightarrow$ Rn	1110nnnn.iiiiiii	—	—
MOV.W @(disp,PC),Rn	(disp $\times 2 + PC + 4$ ) $\rightarrow$ sign extension $\rightarrow$ Rn	1001nnnn.ddd.ddd	—	—
MOV.L @(disp,PC),Rn	(disp $\times 4 + PC + 0xFFFFFC + 4$ ) $\rightarrow$ Rn	1101nnnn.ddd.ddd	—	—
MOV Rm,Rn	Rm $\rightarrow$ Rn	0110nnnn.nnnnn.0011	—	—
MOVB Rm,@Rn	Rm $\rightarrow$ (Rn)	0010nnnn.nnnnn.0000	—	—
MOV.W Rm,@Rn	Rm $\rightarrow$ (Rn)	0010nnnn.nnnnn.0001	—	—
MOV.L Rm,@Rn	Rm $\rightarrow$ (Rn)	0010nnnn.nnnnn.0010	—	—
MOVB @Rm,Rn	(Rm) $\rightarrow$ sign extension $\rightarrow$ Rn	0110nnnn.nnnnn.0000	—	—
MOV.W @Rm,Rn	(Rm) $\rightarrow$ sign extension $\rightarrow$ Rn	0110nnnn.nnnnn.0001	—	—

Isso pode ser entregue impresso, pdf, printscreen em jpg, tanto faz.

Também é necessário entregar um documento com a codificação utilizada, ou seja, o formato das instruções e *opcodes* usados. Inclua qualquer adaptação que se decidiu fazer (ex.: não usar o \$0 como constante ou então mapear o acumulador para o \$1, se for o caso).

Crie uma codificação de instruções para o seu processador. Anote-a num arquivo texto, pdf ou planilha, explicitando os campos. Para cada programa que você for implementar, liste as instruções indicando os endereços de memória e os códigos de máquina *em hexadecimal ou binário*. Decimal é para os fracos.

Porém, escovar bits contando-os em uma string binária de 16 dígitos pode parecer heróico mas acaba sendo arriscado e ingrato. Para isso, uma dica: o GHDL permite separar os campos com um underline ("\_"), basta indicar a base (binária com um "b", hexa com um "x" à frente. Para a instrução MOV acima, por exemplo:

7 => b"0110\_1111\_0000\_0011" -- MOV R0, R15  
8 => x"E\_5\_7C" -- MOV #7Ch, R5

### Reimpressão do FAQ do lab #3: Erros Comuns (“O que diachos está acontecendo?”)

Abaixo, coisas que o compilador não pega direito:

- Erros bizarros podem ser gerados se você errar o nome da entidade na arquitetura:

```
architecture a_porta_tb of porta is    -- Era porta_tb! Erro de copy-paste
```

O compilador pode indicar que os pinos do componente estão errados ou que não acha o componente.

- Esquecer um pino no *port map* significa “deixar ele em aberto” e então o programa não avisa isso... Se alterar a pinagem duma entidade, confira imediatamente os “component” dela em outros arquivos.

```
 uut: porta port map( in_a => in_a,
                      -- in_b => in_b, <== Isso não é avisado!!!
                      a_e_b => a_e_b);
```

- Você usou if? Você usou **if?!** Peralá, só use isso dentro do registrador, campeão. Se a internet sugeriu que você usasse em outro lugar, ignore-a e **não use if**.
- Tem um sinal com duas atribuições? Tipo, mesmo em arquivos diferentes ou lugares diferentes? Como abaixo?

```
 d <= b or c;
 -- ...
 d <= a;
```

*Erro mortal.* Você está tentando dar duas definições diferentes para o mesmo ponto do circuito (dois valores para o mesmo fio ou ponto de medição).