

11/11/2019

Nos trabalhos anteriores, você projetou a ROM (Instruction Memory), a RAM (Data Memory), o banco de registradores (Registers) e a Unidade Lógico-Aritmética (ALU). Neste trabalho você construirá outra unidade funcional, o Sign-extend. Você também fará uma modificação na ULA que foi contruída no trabalho anterior, com o objetivo de adequá-la às instruções do PoliLEG, e implementará o ALUControl. Finalmente, você construirá a Unidade de Controle (Control) do processador.

Conforme foi explicado no trabalho anterior, o processador PoliLEG usa o paradigma de Unidade de Controle e Fluxo de Dados. Na Figura 1 podemos observar o diagrama de blocos, com as interligações entre a unidade de controle e o fluxo de dados. É importante lembrar que as memórias de instruções e de dados são componentes externos ao processador.

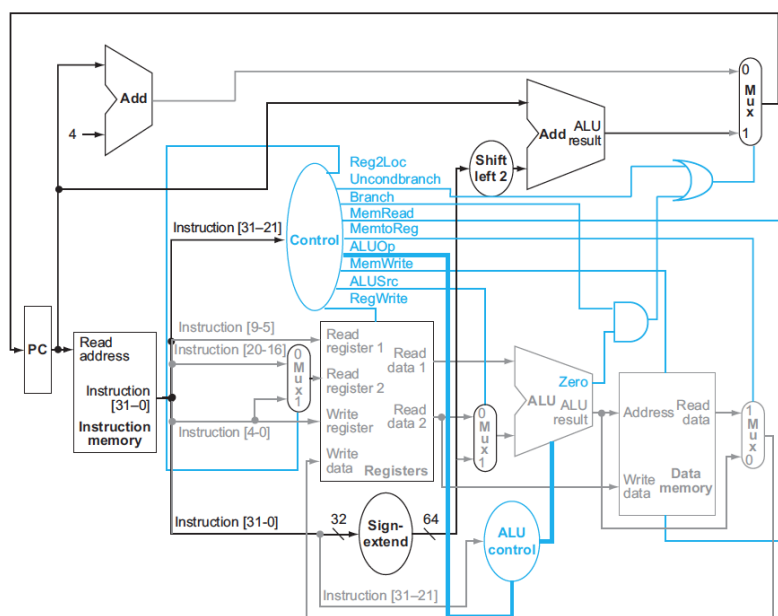


Figura 1: Diagrama do PoliLEG

Para facilitar o projeto dos circuitos deste trabalho, será bom rever o funcionamento e o formato das instruções do PoliLEG. A leitura recomendada são os Capítulos 2 (Seções 2.1 a 2.10), 4 (Seções 4.1 a 4.4) e o Apêndice A5 do livro texto da disciplina (*Computer Organization and Design - The Hardware/Software Interface, ARM Edition*, de David Patterson & John Hennessy). As 8 instruções do PoliLEG a serem implementadas são apresentadas na Tabela 1. Nesta tabela você en-

contrará a sintaxe em Linguagem Assembly e a descrição da ação executada em cada instrução, além do tipo de formato e o opcode.

Instrução	Formato	opcode	Sintaxe/Descrição
LDUR	D	11111000010	LDUR Rt, [Rn + address] Rt = Memory[Rn + address]
STUR	D	11111000000	STUR Rt, [Rn + address] Memory[Rn + address] = Rt
CBZ	CB	10110100	CBZ Rt, address if (Rt == 0) goto (PC + address)
B	B	000101	B address goto (PC + address))
ADD	R	10001011000	ADD Rd, Rn, Rm Rd = Rn + Rm
SUB	R	11001011000	SUB Rd, Rn, Rm Rd = Rn - Rm
AND	R	10001010000	AND Rd, Rn, Rm Rd = Rn AND Rm (bit a bit)
ORR	R	10101010000	ORR Rd, Rn, Rm Rd = Rn OR Rm (bit a bit)

Tabela 1: Instruções do PoliLEG

A composição dos bits das instruções depende de cada formato. O formato das instruções do tipo R (ADD, SUB, AND e ORR) é apresentado na Tabela 2, enquanto que os formatos das instruções do tipo D (LDUR e STUR), do tipo CB (CBZ) e da instrução B estão nas Tabelas 3, 4 e 5, respectivamente. Note que cada formato tem campos diferentes, mas todos têm o mesmo comprimento de 32 bits.

Campo	opcode	Rm	shamt	Rn	Rd
Posições (bit)	31-21	20-16	5-10	9-5	4-0

Tabela 2: Formato R

Campo	opcode	address	o	Rn	Rt
Posições (bit)	31-21	20-12	11-10	9-5	4-0

Tabela 3: Formato D

Campo	opcode	address	Rt
Posições (bit)	31-24	23-5	4-0

Tabela 4: Formato CBZ

Campo	opcode	address
Posições (bit)	31-26	25-0

Tabela 5: Formato B

Atividades

T4A1 (3 pontos) Implemente um componente em VHDL correspondente à unidade funcional Sign-extend, respeitando a entidade da Listagem 2. Você deverá submeter ao Juiz o arquivo VHDL da descrição (entidade e arquitetura) do signExtend, incluindo eventuais componentes adicionais que utilizar.

Trabalho 4, Atividade 1

```

entity signExtend is
  port(
    i: in          bit_vector(31 downto 0); — input
    o: out         bit_vector(63 downto 0) — output
  );
end signExtend;

```

Figura 2: Entidade para Sign-extend

A unidade funcional Sign-extend é usada nas instruções de salto condicional (CBZ) e incondicional (B), além de transferência entre a memória de dados e o banco de registradores (LDUR e STUR). Esta unidade funcional recebe a instrução de 32 bits (entrada i) e converte o respectivo campo address num inteiro de 64 bits (saída o), mantendo o sinal de address. Tanto address como a extensão para 64 bits são representados em Complemento de 2. Por exemplo, na instrução CBZ o campo address tem 19 bits de comprimento e, se $\text{address} = 40003_{16}$, então $\text{Sign-extend}(\text{address}) = \text{FFFFFFFFFC0003}_{16}$.

Recomendação: ao fazer o testbench para o Sign-extend, prepare testes para as 4 instruções que usam o Sign-extend: LDUR, STUR, CBZ e B.

T4A2 (1 ponto) Esta Atividade tem como objetivo substituir a operação “SLT”, que foi implementada na ULA do Trabalho 3, pela operação “pass B”. Para isso, modifique a ULA de 1 bit e a ULA de 64 bits para que tenham as operações descritas nas Tabelas 6 e 7, respectivamente. Projete as ULAs de 1 e de 64 bits, cujos sinais de entrada e de saída devem ser de acordo com a descrição das entidades mostradas nas Figuras 3 e 4. Você deverá submeter ao Juiz o arquivo VHDL da descrição (entidade e arquitetura) da alu1bit e da alu, incluindo eventuais componentes adicionais que utilizar.

Trabalho 4, Atividade 2

operation	Descrição
00	a AND b
01	a OR b
10	sum
11	b

Tabela 6: operation para ULA de 1 bit

```

entity alu1bit is
  port (
    a, b, less, cin: in bit;
    result, cout, set, overflow: out bit;
    ainvert, binvert: in bit;
    operation: in bit_vector(1 downto 0)
  );
end entity;

```

Figura 3: Entidade da ULA de 1 bit

T4A3 (2 pontos) O objetivo desta Atividade é projetar o componente da Unidade de Controle denominado ALU Control. A descrição da entidade ALU Control está na Figura 5. Este componente tem a fun-

Trabalho 4, Atividade 3

op	Descrição
0000	$A \& B$, bit a bit
0001	$A B$, bit a bit
0010	$A + B$
0110	$A - B$
0111	$PassB$
1100	$\overline{A B}$, bit a bit

Tabela 7: operation para ULA de 64 bits

```

entity alu is
  generic (
    size : natural := 64
  );
  port (
    A, B : in  bit_vector(size-1 downto 0); -- inputs
    F      : out bit_vector(size-1 downto 0); -- output
    S      : in  bit_vector(3 downto 0); -- op selection
    Z      : out bit; -- zero flag
    Ov     : out bit; -- overflow flag
    Co     : out bit -- carry out
  );
end entity alu;

```

Figura 4: Entidade da ULA de 64 bits

ção de configurar a operação a ser feita na ULA de 64 bits, conforme descrito na tabela da Figura 6. Observe que o ALU Control recebe 2 entradas: o sinal de 2 bits aluop e o campo de 11 bits opcode das instruções do Tipo R. No caso das instruções LDUR, STUR e CBZ o campo opcode será ignorado pelo ALU Control. A saída do ALU Control é o sinal de 4 bits aluCtrl. A instrução B não utiliza o ALU Control e, por isso, a saída aluCtrl será arbitrária neste caso. Você deverá submeter ao Juiz o arquivo VHDL da descrição (entidade e arquitetura) do alucontrol, incluindo eventuais componentes adicionais que utilizar.

```

entity alucontrol is
  port (
    aluop: in bit_vector(1 downto 0);
    opcode: in bit_vector(10 downto 0);
    aluCtrl: out bit_vector(3 downto 0)
  );
end entity;

```

Figura 5: Entidade ALU Control

Instruction	ALUOp	Instruction operation	Opcode field	Desired ALU action	ALU control input
LDUR	00	load register	XXXXXXXXXX	add	0010
STUR	00	store register	XXXXXXXXXX	add	0010
CBZ	01	compare and branch on zero	XXXXXXXXXX	pass input b	0111
R-type	10	ADD	10001011000	add	0010
R-type	10	SUB	11001011000	subtract	0110
R-type	10	AND	10001010000	AND	0000
R-type	10	ORR	10101010000	OR	0001

Figura 6: Sinais de entrada e de saída do ALU Control

T4A4 (4 pontos) Implemente a Unidade de Controle do processador monociclo PoliLEG, seguindo a descrição da entidade apresentada na Figura 7. Você deverá submeter ao Juiz o arquivo VHDL da descrição (entidade e arquitetura) do controlunit, incluindo eventuais componentes adicionais que utilizar.

Trabalho 4, Atividade 4

```
entity controlunit is
  port (
    -- To Datapath
    reg2loc : out bit;
    uncondBranch : out bit;
    branch : out bit;
    memRead : out bit;
    memToReg : out bit;
    aluOp : out bit_vector(1 downto 0);
    memWrite : out bit;
    aluSrc : out bit;
    regWrite : out bit;
    -- From Datapath
    opcode : in bit_vector(10 downto 0)
  );
end entity;
```

Figura 7: Entidade Control Unit

Pelo fato de ser um processador monociclo, a Unidade de Controle (UC) do PoliLEG se reduz a um circuito combinatório, que recebe como entrada o opcode de 11 bits e fornece na saída os 9 sinais de controle apresentados na Tabela 8. A tabela está preenchida apenas com os valores correspondentes à instrução LDUR. Caberá a você preencher os valores dos sinais de controle para as demais instruções. Com a tabela completa será possível fazer o projeto do circuito combinatório da UC. Nos casos das instruções CBZ e B, cujos campos de opcode tem menos que 11 bits, o circuito da UC deverá ignorar os bits em excesso.

Controle	LDUR	STUR	CBZ	B	Tipo R
reg2loc	x				
uncondBranch	0				
branch	0				
memRead	1				
memToReg	1				
aluOp	00				
memWrite	0				
aluSrc	1				
regWrite	1				

Tabela 8: Tabela dos sinais da UC

Recomendação: ao fazer o testbench para a Unidade de Controle, prepare testes para todas as 8 instruções do PoliLEG.

Instruções para Entrega

Você deve acessar <https://pelicano.pcs.usp.br>, logar com o email cadastrado no Júpiter e enviar os seus dois arquivos, um de cada vez. Durante o envio do arquivo, será solicitada a *tag* do problema a ser resolvido, que está abaixo:

Tarefa	Problema	tag
T4A1	Sign-extendt	SIGEX
T4A2	ULA genérica de 64 bits	ULA64
T4A3	ALU Control	ALUCT
T4A4	Unidade de Controle	UNCTL

Note que os *tags* são diferentes.

O juiz corrigirá imediatamente sua submissão e retornará com a nota. Caso não esteja satisfeito, você pode enviar novamente e somente a última nota para aquele problema será válida. A nota para este trabalho é composta pela soma das notas dadas pelo juiz para cada atividade. Como sugestão, faça seu *testbench* e utilize um simulador de VHDL para validar sua solução antes de postá-la para o juiz.

A quantidade de submissões para estas atividades foi limitada a 10 por Problema

Atenção: não atualize a página de submissões e não envie a partir de conexões instáveis (e.g. móveis).

Referências

- [1] J.L. Hennessy and D.A. Patterson. *Organização e Projeto de Computadores: A Interface Hardware/Software*. Elsevier Editora Ltda., 2017.