

Nome: \_\_\_\_\_

Matrícula: \_\_\_\_\_

### Instruções

- Prova individual em sala de aula com duração de 2:00 horas
- O restante da prova deverá ser entregue via moodle até o dia 11/05 às 23:50 horas em forma de relatório técnico.
- Crie uma pasta chamada “nome\_sobrenome” e coloque dentro dela o relatório em PDF, os arquivos VHDL, testbench, arquivos Matlab, *prints* das simulações e o tabela com o reporte de síntese e frequência de operação.

**QUESTÃO ÚNICA.** Na navegação de um robô móvel são usadas medidas de distância aos obstáculos através de sensores de ultrassom e de infravermelho. Os sensores foram calibrados obtendo um modelo matemático que relaciona a saída binária dos sensores ( $y_{UL}$  e  $y_{IR}$ ) com a distância ao obstáculo ( $x_{UL}$  e  $x_{IR}$ ). As equações (1) e (2) mostram os modelos obtidos para o sensor de ultrassom e infravermelho, respectivamente.

$$x_{UL} = 1.3 y_{UL} + 2 \quad (1)$$

$$x_{IR} = 0.0012 y_{IR}^2 - 0.89 y_{IR} + 127 \quad (2)$$

Deseja-se fazer a fusão sensorial dos sensores no intuito de melhorar a estimativa do valor de distância medida pelo robô. Para isto são usadas as equações (3), (4) e (5)

$$x_{fusao} = x_{UL} + G_{k+1} (x_{UL} - x_{IR}) \quad (3)$$

$$\sigma_{k+1}^2 = \sigma_k^2 - G_{k+1} \sigma_z^2 \quad (4)$$

$$G_{k+1} = \frac{\sigma_k^2}{\sigma_k^2 + \sigma_z^2} \quad (5)$$

onde

- $x_{fusao}$  é a estimativa da fusão dos dois sensores
- $x_{UL}$  é a medida do sensor de ultrassom
- $x_{IR}$  é a medida do sensor de infravermelho
- $\sigma_k^2$  é o erro de covariância associado ao sensor de ultrassom
- $\sigma_z^2$  é o erro de covariância associado ao sensor de infravermelho
- $\sigma_{k+1}^2$  é o erro de covariância da fusão no instante de tempo  $k+1$  e é calculado a cada instante de tempo  $k$
- $G_{k+1}$  é conhecido como Ganho do filtro e é calculado a cada instante de tempo  $k$

### Requisitos:

1. (3 pontos) Usando os operadores de cálculo aritmético em ponto flutuante de 27 bits implemente uma arquitetura de hardware que permita realizar a fusão sensorial das medidas dos sensores de ultrassom e infravermelho. Considere que as medidas dos sensores  $y_{UL}$  e  $y_{IR}$  estão na representação aritmética de ponto flutuante e que os valores possíveis estão na faixa [0.01 a 3.30] Volts. Adicionalmente, considere que a faixa de valores possíveis para o valor inicial do erro de covariância do sensor ultrassom é  $\sigma_k^2 = [0.0 \text{ a } 0.5]$  e para o sensor infravermelho é  $\sigma_z^2 = [0.5 \text{ a } 1.0]$ .
2. (1 ponto) Explore o paralelismo intrínseco das equações. Apresente um diagrama das arquiteturas e os diagramas das máquinas de estados finitos (se aplica).

3. (2 pontos) Use a metodologia de verificação automática usando o Matlab para criar os estímulos de entrada e para decodificar a saída. Calcule o erro quadrático médio entre a solução hardware (27 bits) e a solução no Matlab (64 bits). Use a sua matrícula como semente inicial do gerador de números aleatórios do Matlab (exemplo: rand('twister', 141936920)). O valor inicial das covariancias dos sensores  $\sigma_k^2$  e  $\sigma_z^2$  também devem ser aleatoriamente gerados.
4. (1 ponto) Qual é o tempo de execução da sua solução? Apresente prints de simulação. Qual é a latência da sua solução? Qual é o throughput?
5. (2 pontos) Acrescente no projeto os *timing constraints* e modifique os atrasos dos buffers de entrada e saída assim como período de clock no intuito de satisfazer as restrições de setup e hold. Apresente o reporte de timing pós-síntese. Qual é a frequência máxima de operação da sua arquitetura? **Nota:** Não é necessário realizar o mapeamento dos pinos nem realizar o análise de timing pós-place and route.
6. (1 ponto) Apresente uma tabela com o consumo de recursos de hardware (slices LUTs, slices Registers, DSPs e BRAMs) de cada módulo e da arquitetura geral.

BOA PROVA !