

Laboratório 3 – Filtro de Média Móvel no Sensor HC-SR04

Prof. Felipe Walter Dafico Pfrimer
Disciplina de Lógica Reconfigurável

1 Introdução

Neste laboratório, os alunos deverão implementar um **filtro de média móvel** sobre as leituras do sensor ultrassônico HC-SR04, utilizando o kit DE10-Lite. O objetivo é suavizar as variações aleatórias (ruído) nas medições de distância, produzindo uma saída mais estável e confiável. O sistema deve permitir ao usuário alternar entre a exibição do sinal **bruto** (não filtrado) e do sinal **filtrado**, usando um botão ou chave do kit.

Este laboratório complementa o Laboratório 2, exigindo que os alunos reutilizem a FSM de medição e adicionem um novo bloco de processamento: o filtro de média móvel. A Figura 1 ilustra o funcionamento básico deste tipo de filtro.

2 Objetivos

- Implementar um filtro de média móvel (Moving Average Filter) com janela de tamanho N (por exemplo, $N = 4$ ou $N = 8$), utilizando memória circular (shift register);
- Integrar o filtro ao sistema de medição do sensor HC-SR04, mantendo a mesma interface de hardware e exibição;
- Permitir ao usuário selecionar entre o sinal bruto e o sinal filtrado, por meio de um botão ou chave do kit (ex.: KEY0 = bruto, KEY1 = filtrado);
- Visualizar o impacto do filtro na resposta temporal e na estabilidade da medida;
- Avaliar visualmente a redução de ruído e o atraso introduzido pelo filtro.

3 Sobre o filtro de média móvel

O filtro de média móvel é um tipo simples de **filtro digital FIR** (Finite Impulse Response) que calcula a média aritmética dos últimos N valores de entrada. Ele é amplamente utilizado em sistemas embarcados por sua simplicidade e baixo custo computacional.

Matematicamente, a saída $y[n]$ é dada por:

$$y[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x[n-k] \quad (1)$$

onde:

- $x[n]$ é o valor atual da amostra;
- $x[n-1], x[n-2], \dots, x[n-(N-1)]$ são as $N-1$ amostras anteriores;
- N é o tamanho da janela (número de amostras consideradas).

A Figura 1 mostra a estrutura típica desse filtro: uma cadeia de registradores de deslocamento (shift registers) armazena as últimas N amostras, que são somadas e divididas por N para gerar a saída filtrada.

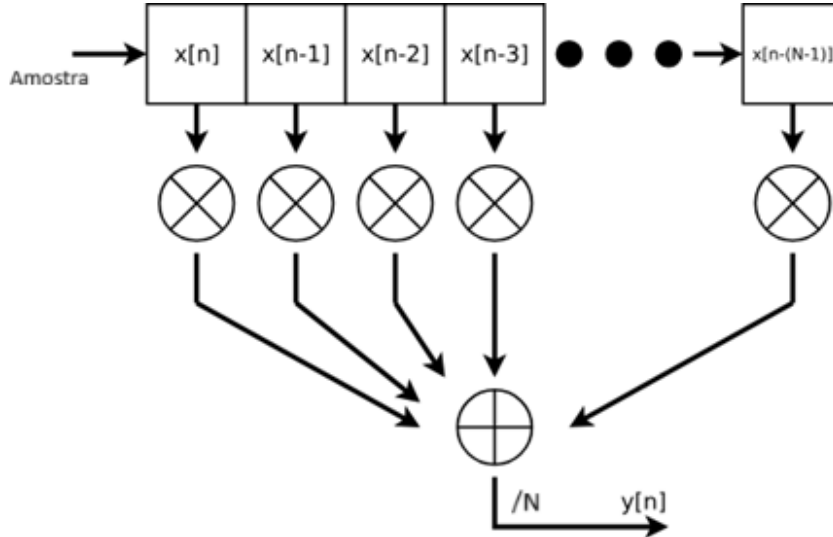


Figura 1: Estrutura de um filtro de média móvel com janela de tamanho N . As amostras $x[n], x[n-1], \dots, x[n-(N-1)]$ são somadas e divididas por N para produzir a saída $y[n]$.

Observação: Em arquiteturas sem unidade de ponto flutuante (como FPGAs), a divisão por N pode ser substituída por um **deslocamento à direita** se N for potência de 2 (ex.: $N = 4 \rightarrow$ deslocar 2 bits; $N = 8 \rightarrow$ deslocar 3 bits). Isso preserva a precisão e evita operações custosas.

4 Instruções, considerações técnicas e dicas

- Este laboratório **depende do Laboratório 2**. Reutilize seu código anterior (FSM, contador, conversão para milímetros, exibição nos displays) como base;
- A atividade pode ser realizada individualmente ou em dupla;
- **Filtro de média móvel:**

- Implemente uma memória circular (shift register) de profundidade N (recomenda-se $N = 4$ ou $N = 8$);
 - A cada nova medição, insira o valor atual no shift register e remova o mais antigo;
 - Calcule a soma das N amostras e divida por N (utilizando deslocamento se N for potência de 2);
 - Armazene o resultado filtrado para exibição.
- **Seleção entre sinal bruto e filtrado:**
 - Use um botão (ex.: KEY0) ou chave (SW0) para alternar entre os modos;
 - Se o botão estiver pressionado (ou a chave ligada), exiba o sinal filtrado; caso contrário, exiba o sinal bruto;
 - Idealmente, indique no display qual modo está ativo (ex.: “B” para bruto, “F” para filtrado, ou utilize um LED indicador).
 - **Taxa de amostragem:** mantenha a mesma taxa do Laboratório 2 (10–20 Hz) para evitar sobrecarga e garantir estabilidade do filtro;
 - **Precisão:** como o filtro envolve soma de múltiplos valores, dimensione os registradores de soma com largura suficiente para evitar overflow (ex.: se $N = 8$ e cada amostra possui 16 bits, a soma pode chegar a 8×2^{16} — use 20 bits ou mais);
 - **Exibição:** mostre a distância nos displays HEX0..HEX3, conforme definido no Laboratório 2. Adicione um indicador visual (LED ou caractere no display) para mostrar se o modo é bruto ou filtrado;
 - **Análise prática:** ao testar, observe:
 - Quanto ruído é eliminado?
 - Há atraso perceptível entre o movimento do objeto e a resposta no display?
 - O que ocorre se você aumentar ou diminuir N ?
 - Entregue as questões a seguir ao professor, **por escrito**, no dia da apresentação. Não serão aceitos arquivos digitais.

5 Questões para entrega

1. Explique como você atualiza o filtro a cada nova medição.
2. Explique seu planejamento para resolver esse laboratório a partir do código do Laboratório 2.