

Laboratório 2 – Sensor Ultrassônico HC-SR04

Prof. Felipe Walter Dafico Pfrimer
Disciplina de Lógica Reconfigurável

1 Introdução

Neste laboratório os alunos deverão acionar e medir distâncias com o sensor ultrassônico HC-SR04 usando o kit DE10-Lite. O objetivo é gerar o pulso de trigger, medir a largura do pulso de echo, converter esse tempo em distância expressa em centímetros com precisão de milímetros (mm) e mostrar o resultado no display de sete segmentos. Para referência técnica, consulte o *datasheet* do sensor:

<https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf>

2 Sobre o sensor HC-SR04

O módulo HC-SR04 é um sensor de distância ultrassônico de baixo custo, com quatro pinos, conforme ilustrado na Figura 1. Seus pinos são:

- **VCC**: alimentação (neste laboratório, 3,3 V);
- **Trigger**: entrada: um pulso de 10 µs inicia a medição;
- **Echo**: saída: permanece em nível alto durante o tempo de propagação do som (ida e volta);
- **GND**: aterramento.

O sensor opera com base na medição do tempo de voo (*time-of-flight*) de uma onda ultrassônica. Ao receber um pulso de **Trigger** com duração de pelo menos 10 µs, o módulo emite 8 pulsos sonoros a 40 kHz e, em seguida, coloca o pino **Echo** em nível alto. Esse sinal permanece alto durante o tempo que o som leva para ir até o obstáculo e retornar ao sensor. A duração do pulso **Echo**, portanto, corresponde ao tempo total de ida e volta, o que permite calcular a distância usando a velocidade do som no ar.

3 Objetivos

- Integrar o sensor HC-SR04 ao kit DE10-Lite e implementar a interface física necessária (alimentação 3,3 V).



VCC	Trigger	Echo	GND
-----	---------	------	-----

Figura 1: Disposição dos pinos do sensor HC-SR04 (vista frontal, com os pinos voltados para você).

- Gerar o pulso de trigger de $10 \mu\text{s}$ e medir a duração do pulso de echo em ciclos de clock.
- Desenvolver uma máquina de estados finitos (FSM) que controle o sequenciamento: gerar trigger, aguardar borda de subida do echo, contar enquanto echo estiver alto, e computar a distância.
- Implementar um contador/timer robusto capaz de medir intervalos de tempo com resolução suficiente para obter precisão em mm¹.
- Exibir o valor da distância em centímetros com precisão de mm nos displays de 7 segmentos (HEX0..HEX3) ou outro meio de saída (UART ou VGA, se preferir).

4 Instruções, Considerações técnicas e dicas

- A atividade pode ser individual ou em dupla.
- Duplas devem acionar dois sensores HC-SR04 simultaneamente, mostrando as distâncias de forma multiplexada nos displays (alternando entre as leituras com uma chave).
- Hardware: O HC-SR04 normalmente opera com 5 V, mas os sensores fornecidos neste laboratório são compatíveis com alimentação de 3,3 V. Alimente o sensor exclusivamente com 3,3 V. Se alimentado com 5 V, o pino ECHO poderá emitir 5 V, o que danifica os pinos de entrada do FPGA DE10-Lite, que não toleram tensões acima de 3,3 V.
- A distância é calculada a partir do tempo de duração do pulso ECHO, que corresponde ao tempo de ida e volta do pulso sonoro. Considerando a velocidade do som no ar

¹Embora a acurácia do sensor seja de ± 3 mm, o sistema deve ser projetado para resolução de 1 mm, ou seja, capaz de distinguir variações de 1 mm no valor calculado.

$(v \approx 343 \text{ m/s} = 343\,000 \text{ mm/s})$, a distância percorrida até o obstáculo é metade da distância total:

$$d = \frac{v \cdot t}{2} \quad (1)$$

onde t é o tempo de viagem (ida e volta) em segundos. Substituindo $t = t_{\mu s} \times 10^{-6}$ (com $t_{\mu s}$ em microssegundos), obtemos:

$$d \text{ (mm)} = \frac{343\,000 \cdot (t_{\mu s} \times 10^{-6})}{2} = \frac{343 \cdot t_{\mu s}}{2000} \quad (2)$$

Alternativamente, em centímetros, uma aproximação comum usada no *datasheet* é:

$$d \text{ (cm)} = \frac{t_{\mu s}}{58} \quad (3)$$

Para este laboratório, utilize a equação em milímetros para garantir resolução de 1 mm, mesmo que a acurácia física do sensor seja limitada a ± 3 mm.

- Contador/Timer: meça o tempo do pulso ECHO em número de ciclos do clock do FPGA. Exemplificando para clock de 50 MHz (ciclo = 20 ns):

$$\text{tempo de echo (\mu s)} = \frac{\text{contagens}}{50} \quad (4)$$

Em aritmética inteira, faça as operações na ordem que preserve precisão (multiplicações antes de divisões).

- FSM sugerida: IDLE → TRIGGER (gerar 10 μs) → WAIT_RISING (aguardar borda de subida de ECHO) → COUNT_HIGH (contar enquanto ECHO=1) → COMPUTE (calcular distância) → DISPLAY → IDLE.
- Taxa de medição: limite a frequência de medições para evitar leituras espúrias (por ex. 10–20 medições por segundo).
- Faixa máxima e largura do contador: dimensione o contador para suportar o tempo máximo de retorno do sensor.
- Utilize os displays HEX3 a HEX0 para exibir até 3 dígitos inteiros e 1 dígito fracionário. Por exemplo, para 12.3 cm: HEX2=1, HEX1=2 (com ponto decimal aceso), HEX0=3, e HEX3 apagado (ou zero, conforme critério).
- Para acionar os displays, é opcional utilizar o seguinte pacote <https://github.com/fpfrimer/sevenSegPro>.
- Teste o sistema com objetos a diferentes distâncias.
- Caso precise de algum instrumento de medição (osciloscópio, multímetro, etc.), solicite ao professor com antecedência.
- Entregue as questões a seguir para o professor no dia da apresentação por escrito. Não entregue arquivos digitais.

5 Questões para entrega

1. Explique a FSM implementada e justifique as transições de estados.
2. Como foi dimensionado o contador/timer (largura em bits) e por quê?
3. Detalhe a conversão de contagens do clock para distância em mm (ordem das operações, para evitar perda de precisão).
4. Quais foram os principais desafios encontrados na implementação e como foram superados?