



MEDIÇÃO COM SENSOR ULTRASSÔNICO HC-SR04

Alessandro Massayuki Nakatani¹, Anderson Valenga Guimarães², Vicente Machado Neto³

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Departamento de Eletrônica, Curitiba, Brasil, massa_nakatani@hotmail.com

² Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Departamento de Eletrônica, Curitiba, Brasil, anderson.guimaraes92@gmail.com

³ Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Departamento de Eletrônica, Curitiba, Brasil, vmachado@utfpr.edu.br

Resumo: Embora que os sistemas de medição de distância baseados em princípios ópticos sejam amplamente difundidos e utilizados comercialmente, os sistemas de medição de distâncias por ultrassom, encontram aplicações em diversas áreas. Transdutores ultrassônicos são dispositivos ainda pouco estudados, apesar da sua grande aplicação tanto na indústria como na medicina. O presente estudo aborda a medição de distância utilizando sensores de ultrassom. Para verificação das características metroológicas do sistema de medição por ultrassom, experimentos foram feitos comparando medições aferidas por um dispositivo mecânico padrão com medições feitas pelo sistema ultrassônico. O sistema de medição ultrassônico foi desenvolvido pela equipe, especialmente, para fazer medições de distância utiliza o sensor ultrassônico HC-SR04 em conjunto com a plataforma Arduino. Erros significativos foram encontrados no sistema ultrassônico, o que limita sua área de aplicação, sugerindo que estudos mais específicos sejam conduzidos ou mesmo a adoção de algoritmos de correção.

Palavras chave: medição ultrassônica, sensor HC-SR04, Arduino, metrologia.

Abstract: Although the systems of distance measurement based on optical principles are widely disseminated and used commercially, the systems of distance measurements by ultrasound, find applications in various areas. Ultrasonic transducers are devices still poorly studied, despite its wide application in industry and medicine. The present study addresses the measurement of distance using ultrasonic sensors. In order to verify the metrological characteristics of the ultrasound measurement system, experiments were done comparing with standard mechanical measurement system. The ultrasonic measurement system was developed by the team, particularly to distance measurements using the HC-SR04 ultrasonic sensor with the Arduino platform. Significant errors were found in the ultrasound system what limits its application area, suggesting that more specific studies are conducted or even the adoption of correction algorithms.

Keywords: ultrasonic measurement, sensor HC-SR04, Arduino, metrology.

1. INTRODUÇÃO

Devido aos grandes avanços da eletrônica, atualmente pode-se encontrar sistemas microprocessados em módulos prontos para uso, dependendo apenas da execução do software. O Arduino é classificado como uma plataforma de prototipagem eletrônica de software livre. O hardware consiste em uma placa de circuito impresso com um microcontrolador da série Atmel AVR, 8-bit ou 32-bit (neste caso, o Atmega328), e o software de um compilador e *boot loader* que suportam códigos essencialmente nas linguagens C/C++ com bibliotecas já inclusas. Neste projeto, foi escolhido o modelo Arduino Uno, mostrado na Figura 1, que possui 14 pinos digitais para input/output que operam com 5 V (seis dos quais podem trabalhar por modelação de largura de pulso), seis pinos analógicos para input que operam de 0 a 5 V, um cristal de 16 MHz, uma conexão USB, uma entrada de alimentação e um botão de reset (<http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>). Por fim, possui também uma memória flash de 32kB, sendo 31.5kB disponíveis, memória SRAM de 2kB e um chip EEPROM de 1kB.

Ainda, o *hardware* pode ser alimentado por meio da sua entrada USB ou por uma fonte de alimentação externa (pilhas, baterias). No Arduino Uno existem sete pinos de alimentação: um pino VIN, que transmite o valor da tensão alimentada externamente, um pino de 5V, outro de 3.3V, três pinos de aterramento e um pino IOREF, que pode ser acessado e utilizado de forma adequada por um *shield*.



Figura 1: Arduino Uno. Fonte: Creativeduino.

Já com relação ao *software*, o Arduino Uno possui um compilador próprio. O código é feito pelo usuário através das linguagens C/C++, compilado e enviado ao microcontrolador através da entrada USB. Ao receber o programa, a placa automaticamente reseta e passa a utilizá-lo. O compilador já possui bibliotecas prontas com diversas funções, um exemplo é a função *digitalWrite()*, na qual o usuário especifica o pino utilizado e se ele apresentará nível lógico alto (*high*) ou baixo (*low*).

É importante ressaltar que o código opera em dois momentos distintos: a parte de *setup*, em que o usuário define se os pinos digitais exercerão função I/O, e a parte de *loop*, em que a parte funcional do código é inserida e opera em um loop infinito (pode ser ajustado) enquanto o Arduino estiver sendo alimentado.

1.1. O sensor HC-SR04

O HC-SR04 é um dispositivo para medição ultrassônica, bastante utilizado em equipamentos eletromecânicos. Nele, há um circuito de controle, um transmissor e um receptor ultrassônico. Segundo o fabricante Elec Freaks [1], ele fornece medidas de 20 mm a 4000 mm, cuja precisão pode chegar a 3mm.

A Figura 2 apresenta o diagrama de tempos dos sinais para o acionamento do sensor. Para começar a medição, o *trigger* deve receber um pulso de 5V por pelo menos 10 μ s, fazendo o sensor transmitir 8 ciclos de pulsos ultrassônicos a 40 kHz e esperar pelo sinal refletido. Ao recebê-lo, o pino *echo* será colocado em *high* e sofrerá um *delay* proporcional à distância. O código é fundamentado principalmente pela função *pulseIn(int pinoRecebeSinal, int intensidadePulso)* que, após enviar pulsos através da já citada *digitalWrite*, lê o tempo entre a chamada e o pino enviar *high*. Chega-se no valor da distância em centímetro após utilizar a seguinte equação:

$$Distância = \frac{tempo\ em\ HIGH * velocidade\ do\ som}{2}$$

$$velocidade\ do\ som = 340\ [m/s]$$

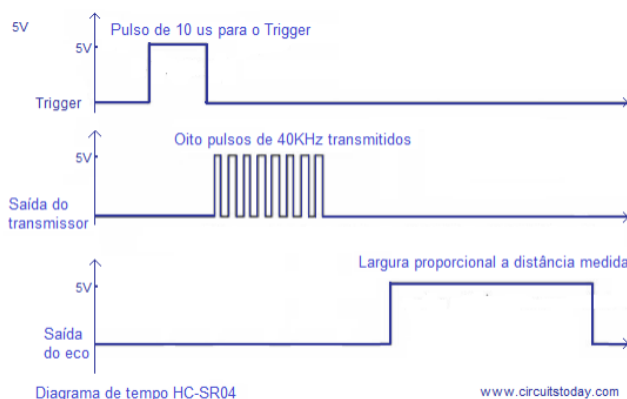


Figura 2: Diagrama de funcionamento do HC-SR04 [3].

2. METODOLOGIA

O projeto visa mandar pulsos ultrassônicos a partir de um sensor HC-SR04 monitorado pelo microcontrolador

Arduino UNO. Em seguida, calcular as suas durações e, consequentemente, a distância até um obstáculo, apresentando-a a cada cinco segundos no console do programa.

Utilizou-se uma mesa XY de alta precisão para comparar as medidas entre 20 mm e 120 mm. Assim, foi possível verificar a precisão e a exatidão do circuito para pequenas medições, através da comparação de valores e seus gráficos, apresentados na próxima seção.

As medições foram realizadas no laboratório de metrologia do Departamento Acadêmico de Mecânica – DAMEC, do campus Curitiba da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, no dia 14 de março de 2014.

A mesa XY tem resolução de milésimos de milímetro para a marcação das distâncias-base e régua de seno como anteparo para a reflexão do ultrassom, conforme mostra a Figura 3.



Figura 3: Sistema de Testes.

Foram realizados cinco ciclos de medições, sendo que em cada um deles, duas medições foram feitas. As duas medições por ciclo foi adotada pela dificuldade de estabilização das medições, mesmo esperando-se um tempo bem maior do que 5 segundos. Mediu-se de 20 mm até 120 mm, pois este é o limite da mesa XY e 20 mm o valor mínimo que o sensor HC-SR04 mede de acordo com o fabricante.

Como os valores entre 40 e 50 mm aparentemente apresentaram incertezas maiores e era do interesse da pesquisa, refez-se parte da experimentação, variando-se de 1 em 1 mm na faixa. Novamente foram efetuadas 5 ciclos de medições com duas medições em cada ciclo.

A temperatura foi controlada e manteve-se a 25°C durante todo o processo.

3. RESULTADOS

Os dados obtidos nos 5 ciclos de medições em duplicata na faixa de 20 a 120 mm estão mostrados na Tabela 1.

A tabela 2 mostra as medições efetuadas na faixa de 40 a 50 mm em cinco ciclos com duas medições em cada.

Tabela 1. Medições efetuadas entre 20 e 120 mm

| Distância (mm) | Medição 1 (mm) | Medição 2 (mm) | Medição 3 (mm) | Medição 4 (mm) | Medição 5 (mm) |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 20 | 22,2 | 22,2 | 22,2 | 22,2 | 22,2 |
| 25 | 26,4 | 26,4 | 26,4 | 25,2 | 25,9 |
| 30 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 30,9 |
| 35 | 35,9 | 35,9 | 35,9 | 35,9 | 35,7 |
| 40 | 39,5 | 40,3 | 40,0 | 40,9 | 41,0 |
| 45 | 41,6 | 40,9 | 41,6 | 45,5 | 44,5 |
| 50 | 46,2 | 46,0 | 46,2 | 46,0 | 45,2 |
| 55 | 50,9 | 49,8 | 50,9 | 50,9 | 49,7 |
| 60 | 54,5 | 55,5 | 55,5 | 56,0 | 54,5 |
| 65 | 60,5 | 59,7 | 64,8 | 64,8 | 64,8 |
| 70 | 65,7 | 64,8 | 69,0 | 70,0 | 69,1 |
| 75 | 69,5 | 70,7 | 70,5 | 69,3 | 71,2 |
| 80 | 71,6 | 70,7 | 71,6 | 70,5 | 70,5 |
| 85 | 80,0 | 78,8 | 80,3 | 79,3 | 79,3 |
| 90 | 85,2 | 84,0 | 84,5 | 85,7 | 85,7 |
| 95 | 92,9 | 93,8 | 94,5 | 93,3 | 94,5 |
| 100 | 94,5 | 95,3 | 94,5 | 95,3 | 94,5 |
| 105 | 100,2 | 99,1 | 99,0 | 100,3 | 99,0 |
| 110 | 103,8 | 104,8 | 105,3 | 104,5 | 105,3 |
| 115 | 109,0 | 107,8 | 110,5 | 109,3 | 109,3 |
| 120 | 117,8 | 117,9 | 118,3 | 118,3 | 117,8 |
| Hora | Início | Fim | Início | Fim | Início |
| Temperatura | 25° C | 25° C | 25° C | 25° C | 25° C |

Tabela 2. Medições efetuadas entre 40 e 50 mm

| Distância (mm) | Medição 1 (mm) | Medição 2 (mm) | Medição 3 (mm) | Medição 4 (mm) | Medição 5 (mm) |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 40 | 41,0 | 40,0 | 41,0 | 40,9 | 41,0 |
| 41 | 36,7 | 36,7 | 37,9 | 37,6 | 37,6 |
| 42 | 38,3 | 38,3 | 38,3 | 37,4 | 37,2 |
| 43 | 39,5 | 39,3 | 39,5 | 39,3 | 38,3 |
| 44 | 44,5 | 44,7 | 44,7 | 43,6 | 43,6 |
| 45 | 41,9 | 45,5 | 45,5 | 44,7 | 45,5 |
| 46 | 42,6 | 42,4 | 42,4 | 41,6 | 42,4 |
| 47 | 47,6 | 47,6 | 46,7 | 46,6 | 43,6 |
| 48 | 48,1 | 48,3 | 47,2 | 47,2 | 48,3 |
| 49 | 45,5 | 45,5 | 44,7 | 44,9 | 45,9 |
| 50 | 46,0 | 46,0 | 46,2 | 45,2 | 46,0 |
| Hora | Início | Fim | Início | Fim | Início |
| Temperatura | 25° C | 25° C | 25° C | 25° C | 25° C |

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com o objetivo de se fazer uma análise metrológica dos resultados obtidos foram determinados os erros sistemáticos e aleatórios, obtidos na faixa de distâncias estudadas entre 20 e 120 mm.

Para avaliação do erro sistemático E_s foi considerado a média das 10 medições feitas, menos a indicação do sistema mecânico x y padrão, conforme indicado na equação 1.

Para avaliação dos erros aleatórios foi considerada a repetibilidade das 10 medições feitas mais a resolução limitada do sistema de medição de 0,1 mm. Considera-se a repetibilidade dividindo o desvio padrão das 10 medições por raiz de 10. Para a resolução considera-se 0,1 mm dividido por 2 e por raiz de 3, já que a distribuição da resolução é considerada como retangular. Os erros da repetibilidade e resolução foram somados quadraticamente e tirada a raiz quadrada. Para expansão das incertezas para 2σ ou 95,45% utilizou-se a multiplicação por 2,32, uma vez que a maioria dos cálculos dos graus de liberdade efetivo, calculado pela equação de Welch-Satterthwaite, deu valores próximos a 9, sendo que o coeficiente $t_{student}$ para 9 graus de liberdade e 95,45% de abrangência é igual a 2,32. Os cálculos feitos para obtenção do erro aleatório E_a são apresentados na equação 2.

$$E_s = \bar{x} (10 \text{ medições}) - ind \text{ do sistema } x \text{ y} \quad (1)$$

$$E_a = \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_{10 \text{ medições}}}{\sqrt{10}}\right)^2 + \left(\frac{0,1}{2\sqrt{3}}\right)^2} \times 2,32 \quad (2)$$

Somando-se os erros aleatórios de sistemáticos obtidos pode-se chegar à curva de erros do sistema de sistema de medição ultrassônico em comparação com a mesa padrão x y. A figura 1 apresenta a curva de erros obtida pela comparação dos dois sistemas.

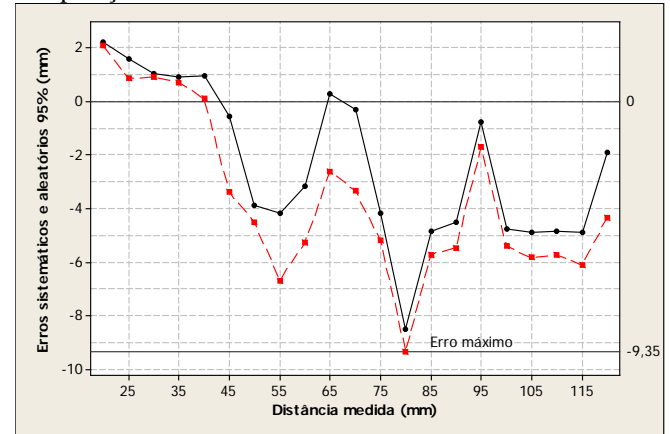


Fig. 1. Curva de erros obtida para valores entre 20 e 120 mm

Na análise detalhada dos valores entre 40 e 50 mm obteve-se a curva de erros indicada na figura 2.

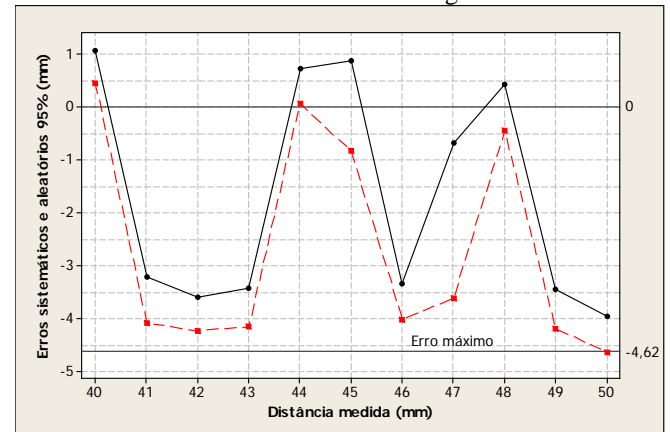


Fig. 2. Curva de erros obtida para valores entre 40 e 50 mm

Na análise dos erros observaram-se grandes erros sistemáticos, em média de -3,0 mm atingindo-se o valor máximo de -8,9 mm para a distância de 80 mm. Os erros aleatórios ficaram em média entre $\pm 0,64$ mm com o valor máximo de $\pm 1,52$ mm para a distância de 70 mm. O erro máximo obteve-se para a distância de 80 mm atingindo o valor de -9,35 mm. O erro máximo para a curva de erros entre 40 e 50 mm foi de -4,62 mm obtido para 50 mm.

5. CONCLUSÕES

Os elevados erros apresentados pelo sistema de medição ultrassônico no atual formato, o inviabilizam para uma utilização comercial na forma de uma trena eletrônica. Como os erros sistemáticos são variáveis ao longo da faixa de medição testada, não se pode aplicar uma correção linear para os erros. A aplicação de uma tabela de correção de acordo com a distância precisa de estudos complementares

de reprodutibilidade dos valores encontrados. Uma vez comprovada a reprodutibilidade dos erros obtidos, fica-se somente com os erros aleatórios de em média $\pm 0,64$ mm.

Como uma das grandes aplicações dos sensores ultrassônicos é guiar robôs através de obstáculos na ordem de centímetros, o sensor HC-SR04 em conjunto com a plataforma Arduino pode ser utilizada com sucesso.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Vicente Machado Neto, professor da disciplina de Metrologia Elétrica do curso de Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pela orientação sobre metrologia.

Ao Prof. Dr. Walter Luís Mikos, da área de Metrologia e Qualidade do Departamento Acadêmico de Mecânica - DAMEC, pelo auxílio e empréstimo dos equipamentos de medição utilizados.

À Blanceliz Higaskino de Lima, do Laboratório de Metrologia Mecânica da UTFPR, pelo apoio e assistência nas medições realizadas.

REFERÊNCIAS

- [1] Ultrasonic Ranging Module HC-SR04. ElecFreaks. Datasheet. Disponível em: <
<http://users.ece.utexas.edu/~valvano/Datasheets/HCSR04b.pdf>
> Acessado em 11 ago. 2013.
- [2] Arduino Uno. Creativeduino. Disponível em: <
<http://creativeduino.com/>> Acessado em 16 mar. 2014.
- [3] CircuitsToday. (2013). CircuitsToday. Acesso em Agosto de 2013, disponível em <http://www.circuitstoday.com/ultrasonic-range-finder-using-8051>.