

Instituto Nacional de Telecomunicações
Mestrado em Telecomunicações
TP546 - Internet das Coisas e Redes Veiculares
Prof. Dr. Samuel Baraldi Mafra

Aplicação de sensores ultrassônicos em redes
veiculares

Flávio Romeiro Simões

19 de outubro de 2024

Resumo

Os veículos motorizados, ao longo do tempo, tornaram-se o principal meio de transporte para pessoas e mercadorias. Com o avanço da tecnologia, esses veículos passaram a incorporar sistemas eletrônicos sofisticados, responsáveis por funções como entretenimento, navegação, percepção e localização. O surgimento dos veículos autônomos, que operam sem intervenção humana, agregam inúmeros benefícios, como a redução de acidentes e do consumo de combustível, além de promover a mobilidade de pessoas com limitações físicas, idosos e crianças. Para garantir a segurança e eficiência desses veículos, uma variedade de sensores é empregada, como Lidar, Radar, GPS, câmeras e sensores ultrassônicos. Este trabalho explora o uso de sensores ultrassônicos, amplamente utilizados por sua capacidade de detectar distâncias com precisão e sua robustez em diferentes condições climáticas.

1 Introdução

Os veículos motorizados se tornaram populares e o principal meio de transporte de pessoas e mercadorias. Com o avanço da tecnologia os veículos passaram a incorporar sistemas eletrônicos que oferecem entretenimento, navegação, percepção, condições mecânicas e localização, além de muitas outras facilidades[5].

Com a evolução e o surgimento dos veículos autônomos, que são veículos que se movem de forma independente sem intervenção humana operando automaticamente de acordo com rotas pré-estabelecidas e que trazem benefícios como a redução de acidentes de trânsito, redução do consumo de combustível, permitir a locomoção de pessoas com deficiências, idosos e crianças, uma série de dispositivos sensores devem estar aptos a manter a dirigibilidade destes veículos de maneira segura e eficiente. Estes sensores são responsáveis em detectar de forma precisa e inteligente a presença de outros veículos, obstáculos, pedestres, agentes de trânsito e até mesmo os sinais de trânsito. Dentre os sensores que permitem esta dirigibilidade podemos destacar: Lidar, Radar, GPS, Câmera, IMU (unidade de medição inercial), além dos sensores ultrassônicos que tem sido utilizados amplamente devido suas características como detecção de distâncias e robustez às condições climáticas [3].

2 Sensores Ultrassônicos

Os sensores ultrassônicos também conhecidos por sonar são capazes de medir a distância e identificar a presença de objetos através da geração e detecção de ecos ultrassônicos. A distância do objeto em relação aos sensores ultrassônicos determina a precisão da medição e são adequados para detectar alvos a uma distância de 20 mm a 10 m, variando de acordo com as características do sensor e do objeto. O transdutor ultrassônico emite pulsos sonoros de alta frequência que são refletidos por objetos dentro do seu campo de visão, retornando ao sensor para análise [7], conforme ilustrado na figura 1.

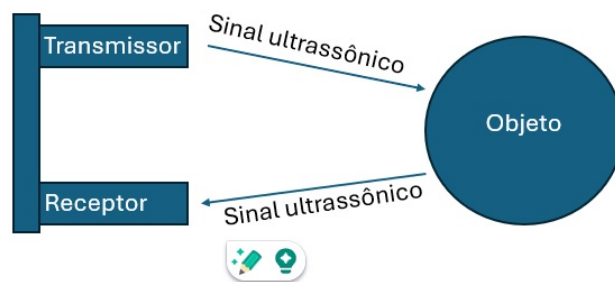


Figura 1: Tempo de detecção do objeto e retorno do sinal ultrassônico

O sensor ultrassônico consegue transformar um sinal elétrico em vibrações mecânicas, e inversamente, converter vibrações mecânicas em um sinal elétrico. Operando em uma única frequência, com capacidade de detectar a diferença de tempo entre o pulso emitido e o eco recebido. Sendo a velocidade do som uma variável conhecida, tendo variações de acordo com o meio em que propaga, por exemplo considerando tempo seco

a 20°C a velocidade do som é 343 m/s, é possível calcular a distância entre o sensor e o objeto detectado utilizando o tempo de propagação de ida e do retorno do sinal recebido, resultando na equação a seguir.

$$d = \frac{t_{\text{idavolta}} \cdot v_{\text{som}}}{2}$$

Onde, d em metros; t em segundos; v em m/s.

As frequências das ondas ultrassônicas variam entre 10 kHz e 1 GHz. Essas frequências estão fora do alcance auditivo humano, sendo percebidas apenas por alguns animais. Assim, o ruído ambiente não interfere no desempenho desse tipo de sensor, já que sua frequência de operação está acima da dos sons ao redor. As ondas ultrassônicas, por serem acústicas, podem ser refletidas por qualquer material, independentemente da cor. Esse recurso é especialmente vantajoso em condições de alta luminosidade ou neblina, onde outros sistemas de detecção de objetos apresentam dificuldades de funcionamento [2].

2.1 Os sensores ultrassônicos e a relação com as superfícies dos objetos e ambientes

Os sensores ultrassônicos são capazes de detectar diversos materiais e em diferentes situações ambientais. A única condição necessária para a detecção ultrassônica é que o material do alvo seja sólido ou líquido, o que permite a identificação sem contato de uma ampla gama de materiais, como metal, plástico, vidro, madeira, rochas, areia, óleo, água e outros materiais rígidos que não absorvem som. Esses materiais refletem o som de volta ao sensor através do ar. No entanto, alguns objetos apresentam maior dificuldade de detecção, como superfícies inclinadas que desviam o eco para longe do sensor, ou materiais permeáveis, como esponjas, espuma e tecidos macios, que tendem a absorver uma quantidade maior de energia ultrassônica refletida [7]. Na figura 2 a seguir, é demonstrado a eficiência de detecção dos sensores ultrassônicos de acordo com o ambiente e as características dos objetos.

Condições do ambiente e características dos objetos.			Eficiência na detecção.
Condições do ambiente	Ensolarado		★★★★★
	Neblina e nebuloso		★★★★☆
	Pressão		★★★★☆
	Alta temperatura		★★★★☆
Características dos objetos	Transparentes		★★★★★
	Líquidos/Fluídos		★★★★☆
	Formas irregulares		★★★★★
	Claros		★★★★★
	Escuros		★★★★★
	Suaves		★★☆☆☆

Figura 2: Eficiência na detecção pelos sensores ultrassônicos

2.2 Aplicações dos sensores ultrassônicos

A medição de alcance registra periodicamente a distância de um ou mais objetos que se movem em direção ou se afastam do sensor durante cada transação de tempo. A taxa de atualização da distância depende de quanto tempo o sensor permanece no modo de escuta do eco; quanto mais tempo ele espera pelo eco, maior será o alcance detectável. Exemplos dessa aplicação incluem sensores ultrassônicos de assistência ao estacionamento e sensores de prevenção de obstáculos em robótica.

Na detecção de proximidade, uma mudança significativa na assinatura do eco ultrassônico indica uma alteração física no ambiente de detecção. Essa abordagem binária é menos dependente da distância e mais baseada na estabilidade da assinatura do eco. Exemplos de uso incluem detecção de penhascos e bordas em robôs, detecção de objetos, veículos em vagas de estacionamento e em sistemas de segurança e vigilância.

Por fim, a detecção do tipo de superfície utiliza dados brutos do eco ultrassônico, sem depender da medição de tempo, para medir indiretamente a maciez ou dureza de um material. Ondas sonoras ultrassônicas refletem-se em superfícies mais duras com menos perdas, retornando um eco mais forte. Em contrapartida, materiais mais macios, como espuma e carpete, absorvem grande parte das ondas sonoras, gerando um eco mais fraco. Exemplos dessa aplicação incluem a detecção do tipo de piso em robôs aspiradores e a detecção do tipo de terreno em cortadores de grama robóticos[7].

2.3 Casos de uso da aplicabilidade de sensores ultrassônicos em redes veiculares

Há uma diversidade de artigos que apresentam alguns casos de uso, utilizando os sensores ultrassônicos, como: Algoritmo de rede neural artificial para sistema multi-sensor ultrassônico de veículo autônomo [3], Um sistema de sensor ultrassônico para aplicação em detecção de veículos [2], Um sistema eficiente de frenagem automática de veículos usando sensor ultrassônico [6], Monitoramento de ponto cego de veículos usando sensor ultrassônico [1] e Controle de cruzeiro adaptativo do veículo autônomo baseado em controlador por modo deslizante usando arduino e sensor ultrassônico [9], sendo este último detalhado neste trabalho.

2.3.1 Caso de Uso - Controle adaptativo de cruzeiro de veículos autônomos usando sensor ultrassônico

Em [9], demonstra que o sensor ultrassônico desempenha um papel essencial no controle adaptativo de cruzeiro (ACC) de veículos autônomos. Onde, este sensor é utilizado para medir a distância entre dois veículos e, com base nessas medições, ajustar a velocidade do veículo hospedeiro, garantindo que ele mantenha uma distância segura do veículo à frente. O sensor ultrassônico, com sua capacidade de detecção precisa, emite ondas sonoras que se refletem nos objetos, permitindo calcular a distância de acordo com o tempo de retorno do eco. Integrado com um controlador por modo deslizante e algoritmos de rede neural, o sistema ACC pode garantir uma condução segura e eficiente, ajustando automaticamente a aceleração ou desaceleração do veículo com base na proximidade dos outros veículos. O protótipo do sistema ACC utilizou o sensor ultrassônico HC-SR04, em conjunto com a placa Arduino UNO, conforme

demonstrado na figura 3, para implementar e testar o controle adaptativo, mostrando resultados robustos e eficientes em simulações e testes práticos.

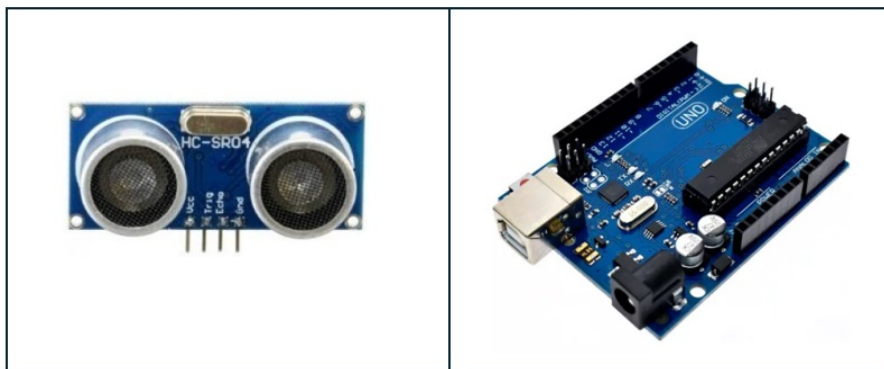


Figura 3: Sensor ultrassônico - modelo HC-SR04 e Arduino Uno

A partir deste sensor ultrassônico e a placa Arduino, foi criado um protótipo para simular a aplicabilidade do ACC, conforme demonstrada na figura 4.

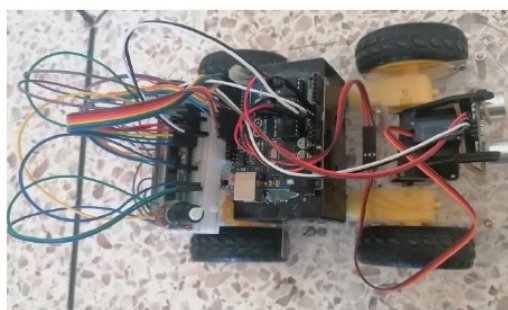


Figura 4: Protótipo do veículo autônomo [9]

Foi elaborado um cenário para avaliar o desempenho do protótipo de veículo autônomo, utilizando diferentes distâncias entre os dois veículos para testar várias situações conforme listado na figura 5 que descreve o princípio de operação do controle do veículo e os resultados práticos obtidos e de acordo com o artigo superou as expectativas [9]. Por fim, o artigo em [9] concluiu que o estudo do Controle de Cruzeiro Adaptativo (ACC) demonstrou resultados promissores, onde protótipo de automóvel autônomo criado obteve com sucesso por todos os testes e no futuro, os autores pretendem implementar o ACC em um automóvel real, ajustando os parâmetros do controlador para uma aplicação prática.

Distância	Procedimento	Resultados esperados	Validação
$d_{meas} > 100$ cm	Se o veículo hospedeiro estiver a uma distância maior que 100 cm do veículo líder.	A velocidade longitudinal do veículo hospedeiro é aumentada.	Sucesso: Aumento de velocidade do veículo hospedeiro realizado.
$50 \text{ cm} < d_{meas} \leq 100$ cm	Se a distância entre o veículo hospedeiro e o veículo líder for maior ou igual a 50 cm e menor ou igual a 100 cm.	A velocidade longitudinal do veículo hospedeiro é reduzida.	Sucesso: Redução de velocidade do veículo hospedeiro realizada.
$d_{meas} \leq 50$ cm	Se o veículo hospedeiro estiver a uma distância menor ou igual a 50 cm do veículo líder.	O protótipo do veículo autônomo é parado.	Sucesso: O veículo foi parado.

Figura 5: Resultados obtidos a partir do protótipo [9]

3 Conclusão

Este trabalho destaca a importância e o avanço dos veículos autônomos no contexto da mobilidade moderna. Com a integração de sistemas eletrônicos, como sensores ultrassônicos, esses veículos conseguem operar de forma segura e eficiente, ajustando-se às condições de trânsito e evitando obstáculos. A pesquisa mostrou que os sensores ultrassônicos são fundamentais para a detecção de objetos e para a manutenção de uma condução autônoma estável, e em um caso de uso, a utilização dos sensores ultrassônicos em sistemas de controle de cruzeiro adaptativo (ACC), onde o ajuste da velocidade é realizado com base na proximidade de outros veículos mostraram resultados promissores, reforçando a viabilidade desses sensores em diferentes cenários.

Referências

- [1] Adnan, Z., et al. "Vehicle blind spot monitoring phenomenon using ultrasonic sensor." *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research* 8.8 (2020).
- [2] Roni Stiawan et al 2019 *J. Phys.: Conf. Ser.* 1204 012017.
- [3] Budisusila, Eka Nuryanto, et al. "Artificial neural network algorithm for autonomous vehicle ultrasonic multi-sensor system." *2020 10th Electrical Power, Electronics, Communications, Controls and Informatics Seminar (EECCIS)*. IEEE, 2020.
- [4] Arun Francis, G., et al. "Object detection using ultrasonic sensor." *Int. J. Innov. Technol. Explor. Eng* 8 (2020): 207-209.
- [5] Lim, Bing Shun, Sye Loong Keoh, and Vrizlynn LL Thing. "Autonomous vehicle ultrasonic sensor vulnerability and impact assessment." *2018 IEEE 4th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*. IEEE, 2018.
- [6] Adaikalam, A., and C. Gomathi. "AN EFFICIENT VEHICLE AUTOMATIC BRAKING SYSTEM USING ULTRASONIC SENSOR." *COMPUTER* 24.8 (2024).
- [7] Toa, Mubina, and Akeem Whitehead. "Ultrasonic sensing basics." *Dallas: Texas Instruments* (2020): 53-75.
- [8] Vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=sYLMW7QhAJQ>, acesso em 16/10/2024
- [9] Alika, Rachid, El Mehdi Mellouli, and El Houssaine Tissir. "Adaptive cruise control of the autonomous vehicle based on sliding mode controller using arduino and ultrasonic sensor." *Journal of Robotics and Control (JRC)* 5.1 (2024): 301-311.