

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE NAVEGAÇÃO PARA VEÍCULO AUTÔNOMO

Maria Carolina Camargo Marcatto ¹; Alessandra Dutra Coelho ²

¹ Aluna de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT);

² Professora da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT).

Resumo. *Este projeto dá continuidade ao estudo de visão embarcada para um veículo autônomo e prevê o estudo de um sistema de controle e navegação para veículos não tripulados. O grande diferencial é a capacidade do carro de guiar-se sozinho, utilizando como guia câmeras, sensores, computador de bordo e a plataforma Arduino que controlará as ações do carro. Os sensores irão auxiliar na detecção de obstáculos e na medição da velocidade do veículo.*

Introdução

Desde há muito, a ideia de seres humanos artificiais tem povoado nosso imaginário. Podemos vê-lo no filme Star Wars com o C3PO e o R2D2, mas essa ideia tem origens muito mais longínquas. Se voltarmos para a Grécia antiga veremos que Hefesto, um de seus deuses, era uma espécie de ferreiro o qual produzia os raios de Zeus e algumas fontes dizem que criava também uma espécie de ‘robôs’ em forma de homem.

A primeira vista reproduzir algumas tarefas simples como ver, entender e interagir com meio ambiente ao nosso redor parece ser algo tolo. Todavia, é algo extremamente complexo; até hoje não existem relatos no quesito de criar um autômato que execute as mesmas tarefas que nós.

Para nós guiarmos um veículo de maneira adequada e segura não é algo automático, precisamos aprender como. Por isso existem auto escolas e regras de trânsito, para nos ajudar a conduzir corretamente.

Agora, dirigir um carro de maneira autônoma é algo bastante complexo. Obter informações relevantes e necessárias para tal, requer o uso de uma combinação de sensores e câmeras para que os dados coletados sejam suficientes para conduzir o veículo.

O carro autônomo é um veículo que dispensa o condutor, ou seja é um carro capaz de circular sem a ajuda humana e poderá ser o veículo do futuro. O principal desafio nestes carros é programá-los para serem capazes de reagir ao meio ambiente, mas também compreendê-lo e ser capaz de antecipar um obstáculo ou uma colisão.

Já existem carros criados com essa função, capazes de conduzir por grandes distâncias sem a ajuda humana. Exemplos disso são os carros participantes da competição DARPA urban challenge, como também o carro do Google.

Este trabalho visa dar continuidade aos projetos desenvolvidos no passado “Desenvolvimento de um veículo autônomo”. O veículo deve ser capaz de se guiar sozinho por pequenas distâncias utilizando câmeras e outros sensores. O que se deseja fazer é algo de complexidade inferior ao proposto pela competição da DARPA. Projetos anteriores já discutiram a implementação de câmeras para que seja possível a identificação de cones de trânsito, com a possibilidade de detecção de outras formas comuns enquanto se trafega um carro. O uso de sensores não foi aprofundado e o será aqui.

O objetivo é fazer com que o veículo seja capaz de reagir a mudanças dinâmicas do percurso, dentre as quais pode-se citar a colisão com pessoas ou animais que estejam

passando em sua frente. Na Figura 1 temos uma foto do veículo estudado. Percebe-se que se trata de uma miniatura.



Figura 1 – Foto da parte frontal do veículo.

As informações provindas dos sensores, das câmeras e do computador serão processadas pela placa Arduino com microcontrolador Atmel. Para auxiliar as câmeras serão utilizados sensores de proximidade para estimar com certa precisão a distância de cada obstáculo para que não haja colisão, além de ajudar a evitar colisões com obstáculos dinâmicos que serão controlados pela plataforma Arduino. Existem muitos sensores no mercado, não obstante, para esse tipo de aplicação há aqueles que se destacam mais. Assim, o estudo pode ser agrupado da seguinte maneira:

- Sensor de distância por ultrassom;
- Sensor de distância a laser (infravermelho);
- Sensor de velocidade (*encoder* incremental);
- Arduino;

Materiais e Métodos

Foram utilizados diversos tipos de sensores para estudo e teste, além de uma placa Arduino com microcontrolador Atmel.

Na eletrônica, um sensor é conhecido como qualquer componente ou circuito eletrônico que permita a análise de uma determinada condição do ambiente, podendo ela ser algo simples como temperatura ou luminosidade ou mesmo uma medida um pouco mais complexa como a rotação de um motor ou a distância de um carro até algum obstáculo próximo. Os sensores podem ser classificados como um tipo de transdutores. Um transdutor é um componente que transforma um tipo de energia em outro.

Neste trabalho foram estudados diversos tipos de sensores de distância. Contudo, os mais utilizados em aplicações como a de um veículo autônomo são os sensores de distância a por ultrassom e a base de laser. Este último, por se tratar de um veículo em miniatura, foi determinado que um sensor infravermelho bastaria.

Arduino é um computador físico baseado numa simples plataforma de hardware livre, projetada com um microcontrolador de placa única, com suporte de entrada/saída embutido e uma linguagem de programação padrão. Uma típica placa Arduino é composta por um controlador, algumas linhas de E/S digital e analógica, além de uma interface serial. O

Arduíno irá controlar as ações do carro e interpretar as informações lidas pelos sensores. experimento.

Sensor de distância por ultrassom

Detectam a aproximação de um objeto sem contato, utilizando a reflexão de uma onda de ultrassom emitida. Essa onda não é visível a olhos humanos. Basicamente, ele funciona da maneira descrita a seguir. Há um transdutor emissor e um receptor (que não necessariamente precisam estar em diferentes locais ou dispostos de tal modo que o objeto a ser observado precise estar entre eles). O emissor emite uma onda longitudinal, no meio em que ela se encontra, a qual se propaga até encontrar um obstáculo que a reflete fazendo com que essa onda refletida seja captada pelo receptor. A distância entre o sensor e o obstáculo pode ser medida pelo tempo gasto entre a emissão e o retorno.

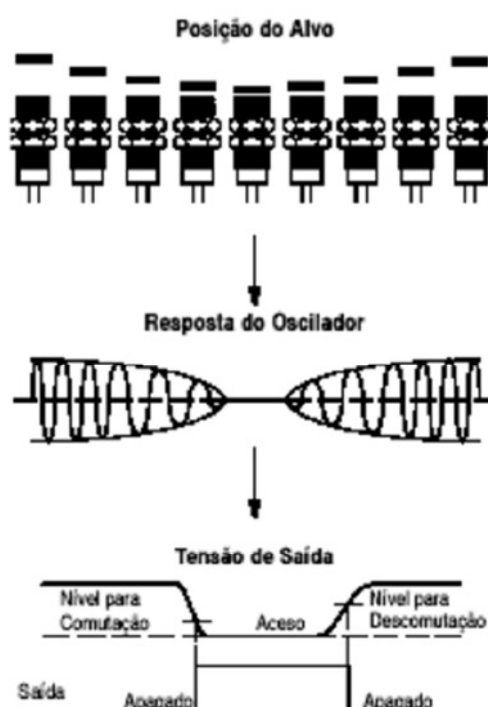


Figura 2 – Esquema do funcionamento de um sensor ultrassom¹.

Por meio da Figura 2 é possível perceber que esse sensor trabalha de modo binário, ou seja, quando o alvo está a certa distância o sensor o reconhece como tal e a sua tensão de saída muda.

Ele consegue detectar a maioria dos objetos, sejam eles líquidos ou sólidos; por isso é um dos sensores aptos a ser usado no experimento.

Sensor de distância a laser (infravermelho)

Detectam a aproximação de um objeto sem contato, utilizando a reflexão da luz emitida. O que pode ser feito de algumas maneiras. Por se tratar de um veículo miniatura o sensor infravermelho seria suficiente. Esse sensor aplica o método da triangulação. Nesse método utiliza-se propriedades geométricas, para prever a distância em que o obstáculo se encontra. Essencialmente, ele emite um feixe de luz e quando este encontra um objeto, a parte

¹ Wendling, R. Retirado de <http://s2i.das.ufsc.br/seminarios/apresentacoes/tecnicas-sensoreamento.pdf>

do feixe que é refletida é captada por um dispositivo de monitoramento de posição (PSD), o qual possui fotodiodos que o auxiliam a determinar a distância na qual o feixe foi incidido para que se possa calcular a distância do objeto.

A Figura 3 mostra esquematicamente como isso é feito. O detector mostrado nela pode ser um PSD. Nota-se que apenas parte da luz emitida é captada pelo detector, o restante é refletida em outras direções.

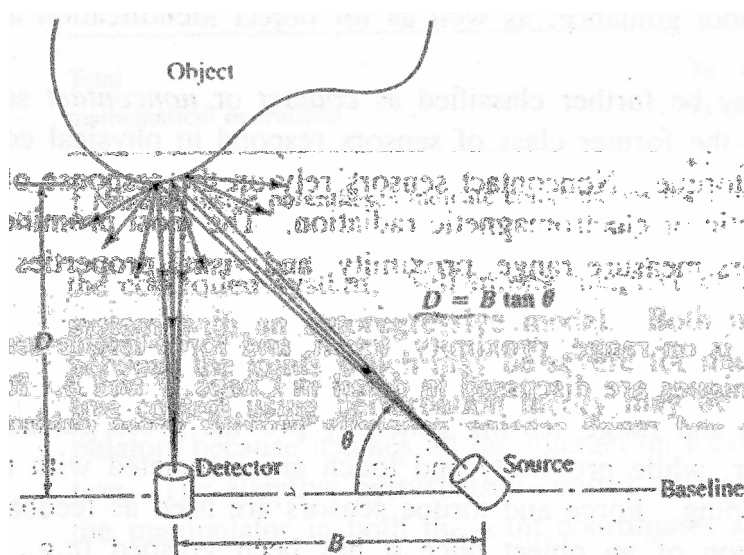


Figura 3 – Esquema de um sensor infravermelho com o uso da triangulação.²

O método acima apresentado está apto para ser usado no experimento. Vale ressaltar haver outros métodos de cálculo de distância com base no sensor a laser.

Sensor de velocidade

O sensor de velocidade usado nesse projeto foi um *encoder*. Trata-se de um sensor que permite descobrir a posição que o veículo está. Pode funcionar por meio de um raio de luz dirigido a um fotodetector correspondente, o qual é periodicamente interrompido por um padrão claro/escuro codificado em um disco ligado ao eixo de interesse. O disco rotativo pode ser feito de cromo e vidro, metal gravado entre outros materiais. No mercado encontramos muitos tipos de *encoders*, podendo agrupá-los em dois grandes grupos: incrementais e absolutos. Como os próprios nomes já fazem alusão, o *encoder* incremental mede a velocidade de rotação podendo inferir a posição relativa. Já o absoluto mede diretamente a posição e velocidade angular absoluta. Comparando esses dois tipos notou-se que os *encoders* incrementais apresentam uma utilização mais fácil e possuem um custo mais acessível. (Everett, 1949).

O *encoder* usado nesse projeto não foi comprado pronto para uso e sim construído de maneira que se tornasse do tipo incremental. Foram utilizados sensores infravermelhos do tipo QRB1114, sendo eles de curta distância, da ordem de poucos milímetros. Também foi criado um disco com cores alternando entre o preto e o branco para que se fosse criado o efeito de claro e escuro. Similarmente ao modelo de *encoder* explicado acima, o sensor escolhido emite um sinal infravermelho em direção ao disco conseguindo medir a intensidade do sinal

² Retirada da apostila da disciplina 017-5524 Oficina de robótica (Mestrado/doutorado) do prof. Dr. Teodiano Freire Bastos Filho

retornado. Ele detecta uma alta reflexão no momento que o laser está apontado para a parte branca do disco, significando que o sinal de retorno é forte. O contrário é válido já que, quando o laser está apontado para a parte preta do disco por conta da cor escolhida, o sinal é mais absorvido, fazendo com que a reflexão seja menor e assim seu sinal retornado seja considerado fraco. Portanto, é possível encontrar o ângulo rotacionado, ou seja, a distância percorrida contando-se as faixas cruzadas.

Deve-se ressaltar que é necessária uma calibração prévia, mas somente ao ligar o robô ou máquina. O disco contém n linhas radiais similarmente ao mostrado na Figura 4. Nela pode-se notar a diferença entre o sinal forte e fraco, como também as n linhas radiais.

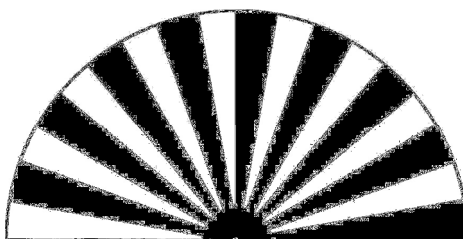


Figura 4 – Esquema de um disco de encoder.

A quantidade de linhas existentes no disco são as responsáveis pela resolução obtida, pois a resolução na posição angular é de:

$$\text{—} \quad (1)$$

Resultados e Discussão

Sensor de distância por ultrassom

Como explicado por Luis Antonio Aguirre (Aguirre, 2007), *a priori* é preciso entender que o meio no qual a onda se propaga influi no modo que as distâncias vão ser calculadas. Devemos lembrar que a onda em si, sendo ela acústica, se propaga fazendo com que as partículas do meio se desloquem em sua posição de equilíbrio, sem que elas se movimentem, apenas fazendo com que sua vizinha passe a se deslocar em torno de sua própria posição de equilíbrio. Assim, o meio em que isso acontece é de extrema importância, já que a velocidade na qual essa propagação é feita depende diretamente do meio na qual ela se encontra.

O sensor ultrassônico possui uma forma de onda de saída analógica; portanto, se for o escolhido para uso é imperativa a utilização de um conversor analógico-digital, o qual fornece um código binário correspondente à tensão analógica de entrada. O Arduino possui um conversor analógico-digital interno que permite monitorar o valor analógico produzido pelo sensor obtendo um valor binário proporcional a uma variável da programação do Arduino.

A distância alcançada pelo sensor ultrassônico varia de acordo com o modelo escolhido. É interessante lembrar que as ondas sonoras se propagam na forma de um cone, com abertura entre 20° e 40° graus. Aguirre também nos informa que “*um transdutor ultrassônico é tanto mais diretivo quanto for sua frequência de operação e o seu diâmetro*”. A diretividade aqui mencionada é relacionada a esse ângulo de abertura, que determina quão abrangente será o sensor (Figura 5).

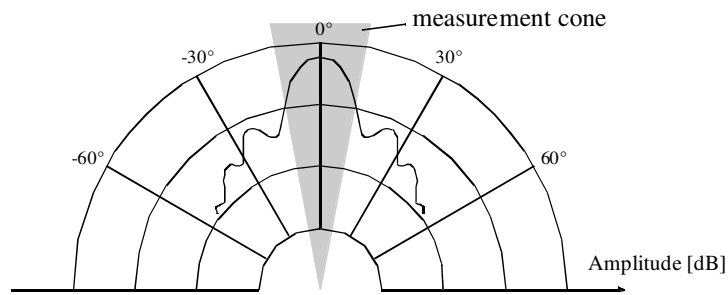


Figura 5 – Ângulo de abertura ou *measurement cone* de um sensor ultrassônico comum.³

Não obstante, é necessário ressaltar os defeitos do sensor ultrassônico. Ele não detecta (ou pelo menos não muito bem) materiais que absorvem ondas sonoras, tais como espuma, peles e roupas, bem como objetos móveis. Como consequência o sensor por ultrassom não consegue detectar muito bem pedestres e animais; contudo, como o experimento não será guiado apenas pelos sensores, mas ele também contará com o auxílio da visão, o sensor ultrassônico pode ser considerado.

O sensor escolhido foi o HC- SR04. Ele possui baixo custo e vale ressaltar algumas de suas especificações retiradas de seu datasheet (Figura 6):

- Tensão de operação: 5 V;
- Consumo típico de corrente: 2 mA;
- Measurement cone: 15 graus;
- Faixa de medição: 2cm – 500cm;
- Precisão: 0,3 cm;

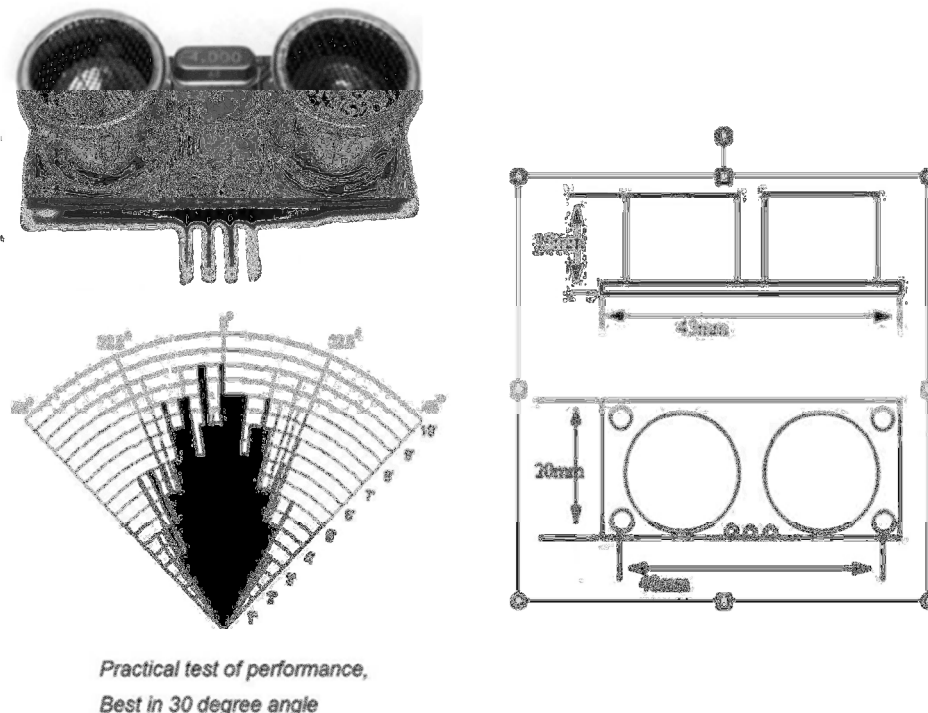


Figura 6 – Sensor HC-SR04.⁴

³ Retirado de Aguirre, 2007.

⁴ Retirado de seu datasheet.

Com a sua tensão de operação de 5 V é possível usar o Arduino sem problemas. Seu consumo de corrente é baixo o que também é vantajoso. É dito que seu measurement cone é de 15 graus, contudo, se olharmos na Figura 7, também retirada de seu datasheet, vemos que ele opera de maneira satisfatória para 30 graus. Observa-se que há quatro pinos que saem do sensor: GND, Vcc, trig e echo. O GND pode ser colocado no próprio GND do Arduino, já o Vcc que é de 5 V (como especificado) pode também ser colocado no Arduino. O trig é diz respeito ao emissor da onda ultrassônica e o echo é ao seu receptor. Ambos podem ser colocados em pinos do Arduino. Um possível esquema para essa aplicação está na Figura 7.

Sensor infravermelho

Tal como o sensor ultrassônico, o meio no qual o sensor se encontra influi no cálculo da distância desejada. Isso ocorre porque a velocidade da luz é diferente em diferentes meios. Esse sensor possui uma precisão superior à do ultrassom, por exemplo, chegando a medir distâncias com exatidão de 0,25 cm.

Anteriormente, um ensaio do sensor já havia sido feito para que fosse possível estimar a distância entre o sensor e o objeto. O sensor infravermelho usado foi o GP2Y0A02YK0F da Sharp e suas principais características estão descritas abaixo e na Figura 7⁵:

- Faixa de medição: 20 - 150 cm;
- Tensão de operação: 4,5 – 5,5 V;
- Consumo típico de corrente: 33 mA;
- Tipo de saída: tensão analógica;
- Tensão diferencial de saída em toda a faixa de distância: 2,0 V (típico);
- Tamanho do dispositivo: 29,5 x 13,0 x 21,5;

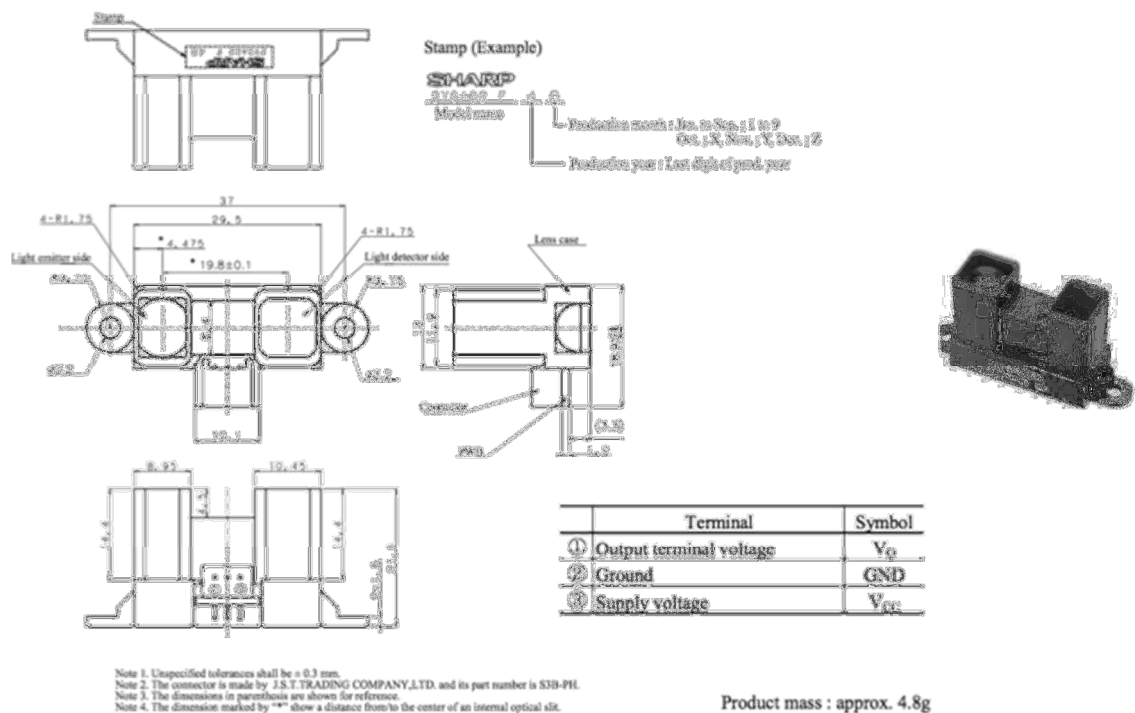


Figura 7 – Sensor GP2Y0A02YK0F⁶.

⁶ Retirado de seu datasheet.

O sensor funciona de maneira que a variação da tensão medida seja inversamente proporcional à distância medida em relação a certa parte do obstáculo encontrado. A Figura 8 ilustra a curva característica do sensor infravermelho escolhido.

O sensor possui três saídas: o GND, o Vcc e a saída de tensão. O GND e o Vcc tal como para o sensor ultrassônico são ligados em seus correspondentes no Arduino. Já a saída de tensão vai um dos pinos do Arduino. Por meio dela é possível estimar a distância de maneira similar ao mostrado abaixo.

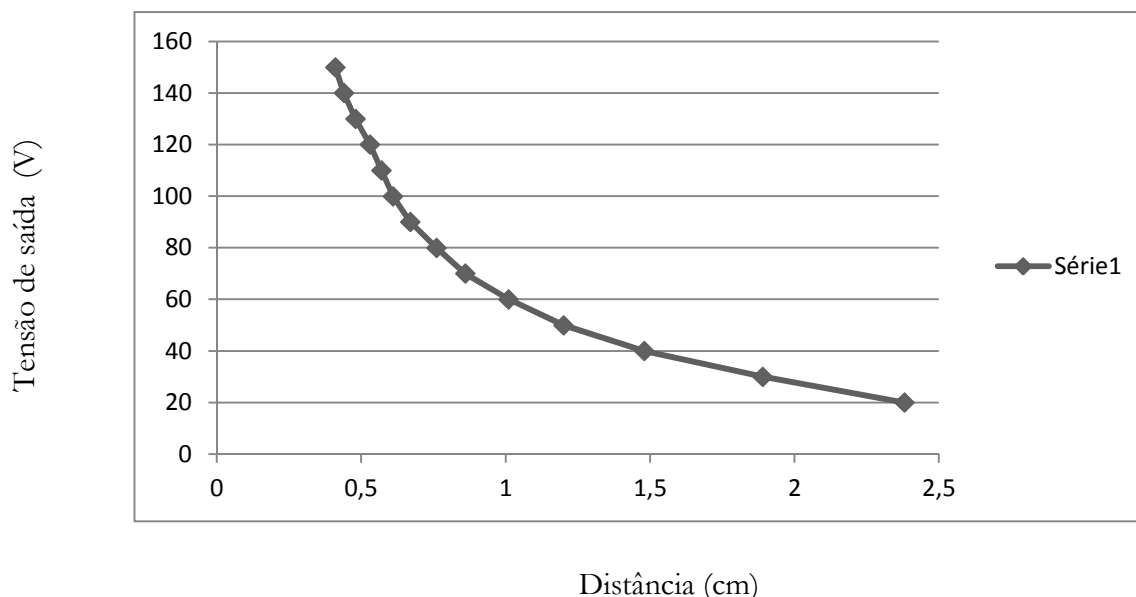


Figura 8 – Gráfico obtido experimentalmente referente ao sensor infravermelho, tensão versus distância.

Sensor de velocidade

No caso desse projeto, o encoder foi montado sobre o eixo do motor; assim, quando o motor girar, o disco também girará. Isso fará com que o sensor capte sinais fortes e fracos, constituindo em uma forma de onda de saída senoidal.

Não obstante, é impossível detectar a direção de rotação se existir apenas um receptor e emissor (sensor infravermelho); por isso foi necessário utilizar múltiplos receptores. Para se saber a direção de giro, um segundo fotodetector foi colocado, defasado em 90°, obtendo-se as formas de onda similares as mostradas na Figura 9, onde ilustra-se um esquema para detecção do sentido de rotação do motor.

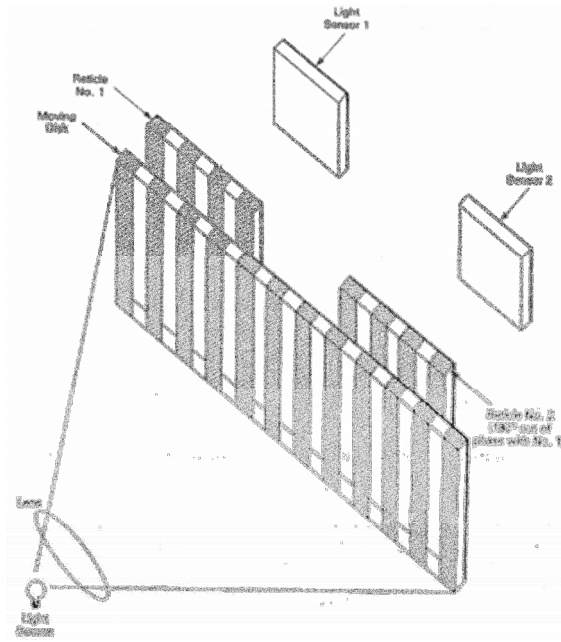


Figura 9 – Esquema para que o sentido de rotação do motor seja captada⁷.

Arduíno

A Figura 10 mostra o esquema de ligação de alguns sensores no Arduíno, incluindo o *encoder* e o sensor por ultrassom escolhido.

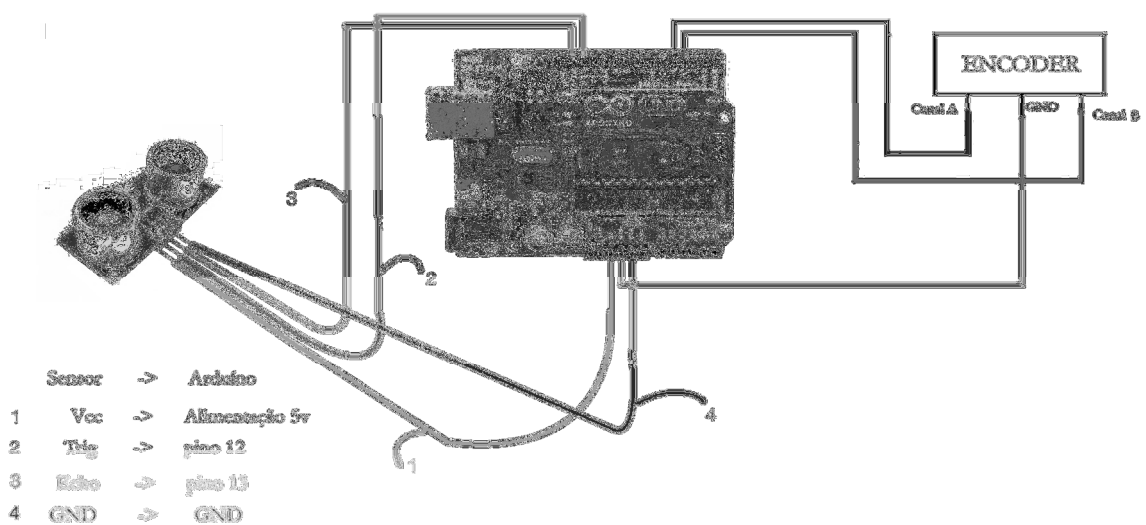


Figura 10 – Esquema de ligação de sensores no Arduíno UNO.

⁷ Retirada da apostila da disciplina 017-5524 Oficina de robótica (Mestrado/doutorado) do prof. Dr. Teodiano Freire Bastos Filho

Conclusões

Há inúmeros tipos de sensores a nossa disposição. Contudo, tipicamente em projetos como veículos autônomos são os sensores de distância por ultrassom e a laser. Para medição de velocidade o *encoder* é o mais utilizado. Diante disto, foi dada ênfase ao estudo e testes dos sensores citados. Este trabalho foi desenvolvido em um curto espaço de tempo o que inviabilizou a montagem no miniveículo dos sensores testados, ficando como proposta para trabalhos futuros. O trabalho possibilitou um aprendizado significativo sobre diversos tipos de sensores e suas aplicações, além de um conhecimento maior em programação para o microcontrolador Arduino.

Referências Bibliográficas

- Habermann, D. (2010) Detecção e rastreamento de obstáculos com uso de sensor laser de varredura. Master's thesis, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- Kornhauser, A.L.; Atreya, A.; Cattle, B.; Momen, S.; Collins, B.; Downey, A.; Franken, G.; Glass, J.; Glass, Z.; Herbach, J.; Saxe, A.; Ashwash, I.; Baldassano, C.; Hu, W.; Javed, U.; Mayer, J.; Benjamin, D.; Gorman, L.; Yu, D. (2007) Darpa urban challenge princeton university technical paper. DARPA Urban Challenge.
- Montemer, M.; Becker, J.; Bhat, S.; Dahlkamp, H.; Dolgov, D.; Ettinger, S.; Haehnel, D.; Hilden, T.; Hoffmann, G.; Huhnke, B.; Johnston, D.; Klumpp, S.; Langer, D.; Levandowski, A.
- Levinson, J.; Marcil, J.; Orenstein, D. (2007) The stanford entry in the urban challenge. DARPA Urban Challenge.
- Apostila da disciplina 017-5524 Oficina de robótica (Mestrado/doutorado) do prof. Dr. Teodiano Freire Bastos Filho
- Thomazini, D.; Albuquerque, P.U.B. (2010) Sensores Industriais: fundamentos e aplicações. 7. ed. São Paulo, Érica.
- Aguirre, L.A. (2007). Enciclopédia de automática: controle e automação. São Paulo, Blucher.
- Everett, H.R. (1995) "Sensors for Mobile Robots: Theory and Application", AK Peters.
- http://www.ipg.pt/user/~ccarroto/_private/SR/Docs/0405/Sensores.pdf
- <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABMRcAH/apostila-instrumentacao-industrial-senai#>
- <http://www2.ele.ufes.br/~tfbastos/RobMov/ApostilaTeodiano.pdf>
- [http://www.trajanocamargo.com.br/wp-content/uploads/2012/05/Controle e -
Automacao Industrial II.pdf](http://www.trajanocamargo.com.br/wp-content/uploads/2012/05/Controle_e_-_Automacao_Industrial_II.pdf)
- <http://www.pictronics.com.br/downloads/apostilas/Curso-de-Eletronica-Digital.pdf>
- <http://s2i.das.ufsc.br/seminarios/apresentacoes/tecnicas-sensoreamento.pdf>
- [http://www.demar.eel.usp.br/electronica/2010/Sensores capacitivos.pdf](http://www.demar.eel.usp.br/electronica/2010/Sensores_capacitivos.pdf)
- <http://www.eetimes.com/design/analog-design/4009869/Building-a-reliable-capacitive-sensor-interface>
- [http://www.atcp.com.br/imagens/produtos/ceramicas/artigos/Sensores Teoria e Aplicacoes.p
df](http://www.atcp.com.br/imagens/produtos/ceramicas/artigos/Sensores Teoria e Aplicacoes.pdf)