

<https://eventos.utfpr.edu.br//sicite/sicite2019>

Estudo e implementação de técnicas de controle para um veículo seguidor de linha

Research and Implementation of Control Techniques for a line follower robot

RESUMO

Mathias Nikkel
mathiasnikkel@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Ponta Grossa – PR - Brasil

Fernanda Cristina Corrêa
fernandacorrea@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Ponta Grossa – PR - Brasil

Os robôs são dispositivos que podem sentir os dados do mundo físico e usá-los para interagir com eles por meio de ações como locomoção ou manipulação. Os manipuladores são estáticos e usados principalmente em robôs industriais, onde realizam tarefas dedicadas, como pintura ou corte. Os robôs móveis, por outro lado, são aqueles que podem se movimentar em um ambiente, eles são usados, por exemplo, em situações militares, em situações perigosas ou na indústria médica, onde é necessária mais precisão.

Este trabalho desenvolve um robô seguidor de linha de rodas. Portanto, era mais fácil criar uma placa PCB personalizada com soquetes para o controlador do robô, um dispositivo Bluetooth e o sensor. Essa placa foi montada em cima de um chassi de compensado, projetado para ter espaço para, além da placa PCB, dois motores, uma bateria e uma posição estratégica para os sensores de linha. Ele usa sensores de refletância para detectar a linha branca na superfície preta; que os dados detectados são usados como entrada para o controlador, que envia um sinal de saída para cada um dos dois motores; devido à diferença de torque entre os motores, o robô gira em torno de seu eixo.

Diferentes controladores foram implementados em um microcontrolador ATmega328p, de onde vem o objetivo principal do estudo: comparação entre diferentes técnicas de controle. Conceitos como estabilidade, tempo de loop, esforço computacional e eficiência serão comparados entre os controladores PID e Fuzzy. Esses resultados podem ser usados em muitos robôs móveis, maximizando sua capacidade em termos de agilidade e confiabilidade, uma vez que sua oscilação será minimizada e a capacidade do microcontrolador otimizada.

PALAVRAS-CHAVE: Controle PID, Controle Fuzzy, Controle Adaptativo, Robô Seguidor de Linha, Robô Móvel com Rodas.

ABSTRACT

Robots are devices that can sense data from physical world and use it to interact with it through actions like locomotion or manipulation. Manipulators are static and mostly used in industrial robots, where they make dedicated tasks, like painting or cutting. Mobile robots, on the other hand, are the ones who can move over an environment, they are used, for example, in military, in dangerous situations, or medical industry, where more precision is required.

This work develops a wheeled line follower robot. Therefore, it was easier to create a custom PCB board with sockets for the robot controller, a Bluetooth device and the sensor. That board was assembled on top of a hardboard chassis, designed to have space for, besides the PCB board, two motors, a battery and a strategic position for the line sensors. It uses reflectance sensors to detect the white line on the black surface; that sensed data

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

Direito autorial: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



are used as input for the controller, which sends an output signal for each of the two motors; due to the torque difference between the motors, the robot turns on its axis. Different controllers have been implemented in an ATmega328p microcontroller, from where comes the main study objective: comparison between different control techniques. Concepts like stability, loop time, computational effort and efficiency will be compared among PID, Fuzzy controllers. Those results can be used in many mobile robots, maximizing their capacity in terms of agility and reliability, once their oscillation will be minimized and microcontroller capability optimized.

KEYWORDS: PID Control, Fuzzy Control, Adaptive Control, Line Follower Robot, Wheeled Mobile Robot.

INTRODUÇÃO

Seguidores de linha robôs que juntam controle, instrumentação, mecânica e controle com intuito de fazer o sistema seguir uma linha pré-definida sobre um fundo contrastante, de acordo com T. Jain et al (2014). De acordo com D. Punetha et al (2013), tais robôs possuem aplicações em diversas áreas, como hospitais e restaurantes.

Há indícios de que o seguidor de linha seja o robô mais popular devida sua aplicabilidade em demonstrar o funcionamento de técnicas de controle amplamente usadas na indústria, como o PID (Proporcional Integral Derivativo) ou mesmo o Fuzzy, como demonstrado por Privank Patil e seu time em 2010.

Para o desenvolvimento completo de um controlador, um mínimo conhecimento sobre o sistema é necessário. Tal conhecimento geralmente envolve um equacionamento matemático, conhecido como Modelo do Sistema.

O grupo de Deepak Punetha (2013) afirma que o modelo pode ser representado por meio de um conjunto de funções de transferência para sistemas lineares invariantes no tempo ou então outras formas de representação para sistemas variantes no tempo, como a representação por Espaço de Estados. Modelar sistemas complexos pode se tornar uma tarefa difícil, para tal, o controlador Fuzzy é uma alternativa para quando a obtenção de um modelo matemático fiel é dificultada. Isso pois o controlador Fuzzy usa uma aproximação humana no algoritmo de tomada de decisões ao invés de uma lógica puramente matemática, o que leva a um projeto robusto de controle.

Modelar um robô seguidor de linha é de tal complexidade, por isso é possível encontrar, nele, uma aplicação direta do controlador Fuzzy.

O objetivo principal desse projeto foi preparar a estrutura e programação do controlador para um robô seguidor de linha focado em competições. Em tais competições, o robô deve completar a trajetória estabelecida no menor tempo possível. A pesquisa apresentada aqui tem o intuito de apresentar as diferenças entre controladores aplicados ao mesmo robô sob a mesma trajetória. Os valores de ganho do controlador PID, bem como as funções de pertinência do controlador Fuzzy, foram encontrados empiricamente e manualmente programadas no microcontrolador.

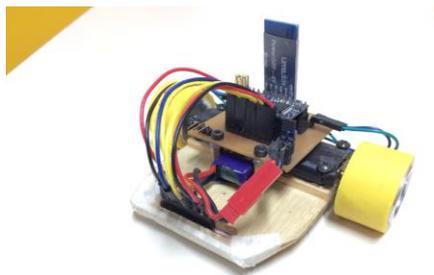
MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho começou com o desenvolvimento do projeto mecânico e eletrônico.

Para o projeto eletrônico, uma placa de circuito impresso (PCB) foi projetada e construída manualmente. Essa placa consiste de um slot para a placa do microcontrolador, um módulo Bluetooth, um conector para a bateria e conector para o sensor. A placa contendo microcontrolador escolhida foi o Baby Orangutan B-328 Robot Controller da Pololu®. A escolha se deu pela capacidade da placa trabalhar com motores internamente, uma vez que possui uma ponte H integrada (TB6612FNG Dual Motor Driver).

Na parte de sensoriamento, o sensor QTR-8RC Reflectance Sensor Array, também da Pololu®, fora escolhido. O sensor consiste de um conjunto de 8 sensores infravermelhos (QRE1113GR) capazes de identificar a linha num fundo contrastante. A locomoção depende de dois motores N20 50:1 com rodas genéricas construídas sobre uma simples placa de compensado. Segue o resultado do robô montado:

Figura 1 – Seguidor de Linha

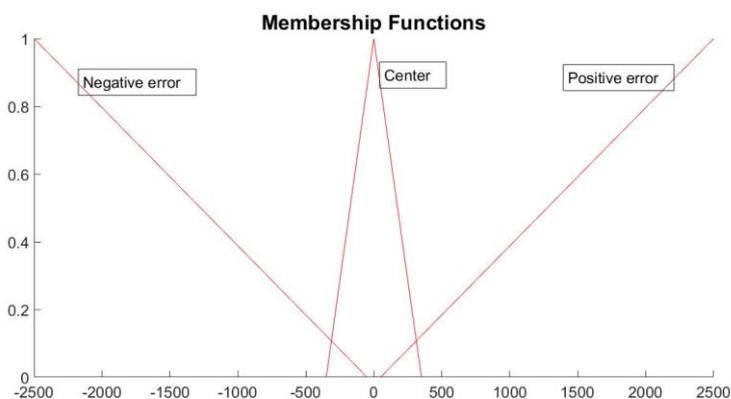


Fonte: própria.

Com o robô montado, começou-se o projeto do controlador PID. Para isso, uma aproximação empírica foi adotada. Isso foi apenas possível por conta da simplicidade do projeto mecânico, gerando, dessa forma, resultados satisfatórios usando valores experimentais nesse tipo de controlador.

O Controlador Fuzzy foi primeiramente estudado nos motores separados, para que assim pudesse ser compreendido o funcionamento dos mesmos. Esse estudo foi realizado verificando a resposta em função de uma entrada senoidal simulando o erro, via MATLAB Simulink® Fuzzy toolbox, nessa ferramenta, as funções de pertinência foram adaptadas até terem uma resposta tolerável. Seguem as funções de pertinência usadas nos motores do robô:

Figura 2 – Funções de pertinência usadas para o controle do robô



Fonte: própria.

Com os controladores projetados, começou-se o desenvolvimento do código em C que conta com função de comunicação Bluetooth-computador, assim tornou-se possível a aquisição de dados do controlador em tempo real.

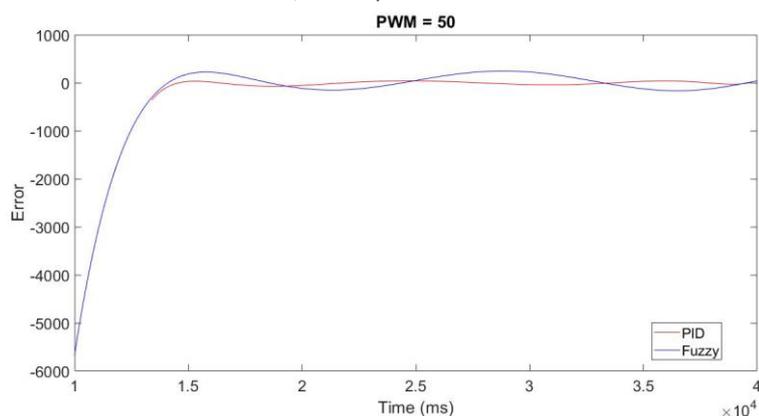
Para avaliar a medida de erro, a técnica de Erro Quadrático Média (MSE) foi usada, sendo ela representada na equação 1.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (d_t - y_t)^2 \quad (1)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

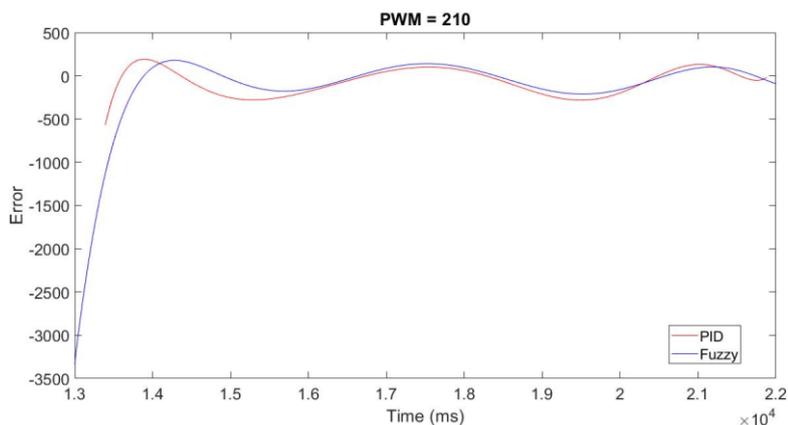
Por meio da comunicação entre o robô e o computador por meio de uma interface Bluetooth, realizou-se a leitura dos dados de tempo e de erro:

Figura 3 – Curvas ajustadas para os controladores Fuzzy e PID com aproximadamente 20% da velocidade total, correspondente a um PWM = 50



Fonte: própria.

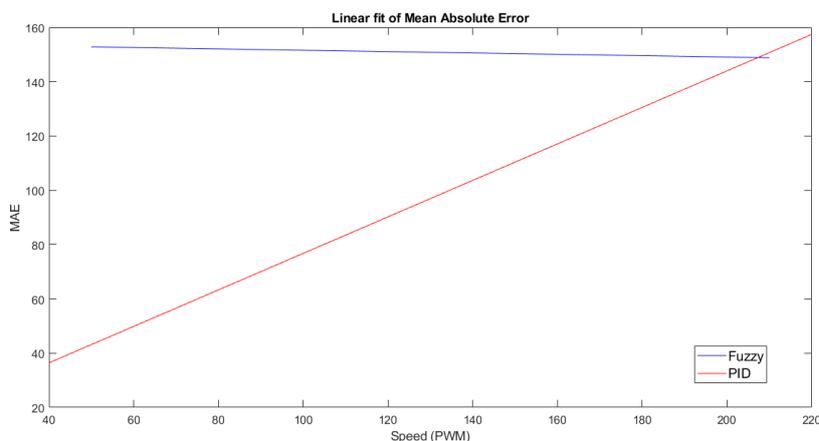
Figura 4 – Curvas ajustadas para os controladores Fuzzy e PID com aproximadamente 82% da velocidade total, correspondente a um PWM = 210



Fonte: própria.

Com os dados adquiridos, estimou-se o erro absoluto médio para cada controlador, em diferentes valores de PWM. Com os valores de erro absoluto médio, realizou-se um ajuste linear para cada controlador, como encontrado na Figura 5.

Figura 5 – Curvas linearmente ajustadas, expondo a variação do erro absoluto médio para cada controlador



Fonte: própria.

CONCLUSÕES

Com o decorrer do projeto, pôde-se perceber uma maior eficácia do controlador PID em relação ao controlador Fuzzy. Mas é possível perceber também que, em velocidades mais altas, a eficiência é aproximadamente a mesma, isso pois a eficiência do PID diminuiu.

Esse fenômeno pode ser explicado pelo fato de que os valores de ganho do PID, assim como as funções de pertinência do Fuzzy, foram configurados com a velocidade ajustada em PWM = 50 (20% da velocidade máxima possível) e mantidos os mesmos até o final dos ensaios.

Então, em torno dessa velocidade inicial, o controlador PID se mostrou mais eficiente por ser mais fácil de configurar empiricamente, isso pode ser matematicamente comprovado ao analisar os valores de coeficiente linear de uma

equação da reta. Do gráfico da figura 5, nota-se claramente que o coeficiente linear do controlador Fuzzy é muito superior em comparação ao do controlador PID.

Pelo outro lado, analisando os valores obtidos com a análise do erro quadrático médio, nota-se uma constância muito maior do controlador Fuzzy. Tal constância pode ser obtida pelos valores de coeficiente angular de uma equação. Novamente pela figura 5, nota-se um coeficiente angular muito mais próximo no controlador Fuzzy do que no controlador PID.

Dessa forma, é possível argumentar que o PID tem uma boa efetividade para regiões para as quais fora projetado enquanto o Fuzzy apresenta maior flexibilidade para regiões imprevisíveis de atuação.

REFERÊNCIAS

Deepak Punetha, Neeraj Kumar, Vartika Mehta, “**Development and Applications of Line Following Robot Based Health Care Management System**”, International Journal of Advanced Research in Computer. Engineering & Technology (IJARCET), Volume 2, Issue 8, August 2013.

D. Punetha, N. Kumar, and V. Mehta, “**Development and Applications of Line Following Robot Based Health Care Management System**”, Int. J. Adv. Res. Comput. Eng. Technol., vol. 2, no. 8, pp. 2446–2450, 2013.

M. Pakdaman, M. M. Sanaatiyan, and M. R. Ghahroudi, “A line follower robot from design to implementation: Technical issues and problems”, no. April 2010. 2010.

Md Zabiuddin, R. Pushpalatha, “**Implementation of Line Tracing algorithm for Path Tracking Robot**”, International Journal of Research in Engineering and Technology (IJRET), eISSN: 2319-1163 | pISSN: 2321-7308, Volume: 04 Special Issue: 05 | May-2015 | NCRIET-2014.

Morettin, Pedro A; Toloí, Clélia. “**Análise de séries temporais.**” In: Análise de séries temporais. [S.l.: s.n.], 2006.

PriyankPatil, “**AVR Line Following Robot**”, Department of Information Technology K. 1. Somaiya College of Engineering Mumbai, India. Mar 5, 2010.

R. K. Sure and S. Patil, “Android Based Autonomous Coloured Line Follower Robot”, pp. 368–373, 2014.

Ramshetty K Sure, Savita Patil, “**Android based Autonomous Coloured Line Follower Robot**”, International Journal of Research in Engineering and Technology (IJRET), eISSN: 2319-1163 | pISSN: 2321-7308, Volume: 03 Special Issue: 03 | May-2014 | NCRIET-2014.

T. Jain, R. Sharma, and S. Chauhan, “**Applications of Line Follower Robot in Medical Field**,” Int. J. Res., vol. 1, no. 11, pp. 409–412, 2014.

Thoa T. Mac, Cosmin Copot , Robin De Keyser, Trung D. Tran, and Thich Vu, “**MIMO Fuzzy Control for Autonomous Mobile Robot**”, Journal of Automation and Control Engineering Vol. 4, No. 1, February 2016.

Yousef Moh. Abueejela Mosbah (2010). “**Fuzzy Logic Controller Design For Wall Follower of Autonomous Robot**”. Universiti Tun Hussein Onn Malaysia: Master’s Thesis.