

Utilização do controlador proporcional, integral e derivativo (PID) para controlar um robô seguidor de linha

Use of the proportional, integral and derivative controller (PID) to control a line-following robot

RESUMO

Rafael Romano
rafaelr@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil

Rafael Cazarotto
rafaelcazarotto@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil

Jonas Joacir Radtke
jonas@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil

Métodos de controle consistem em modelos matemáticos, que foram desenvolvidos com a finalidade de otimizar processos. Um desses métodos é o controle Proporcional-Integral-Derivativo (PID), que é regido por uma equação integro-diferencial, sendo um dos métodos mais utilizados na atualidade. Sua flexibilidade de aplicação o torna uma opção interessante para o ajuste de direção de um robô seguidor de linha. Este, consiste em um robô com a capacidade de seguir uma trajetória de forma autônoma. Junto ao PID, aplicou-se um sistema de frenagem que é acionado antes de curvas mais fechadas. Com isso, obteve-se um ganho de performance, tornando o desempenho do robô mais suave e preciso. Isso foi de grande importância, pois através da apresentação em eventos, o robô despertou o interesse dos jovens.

PALAVRAS-CHAVE: Seguidor de linha. Robótica. Controle.

ABSTRACT

Control methods consist of mathematical models, which were developed for the purpose of optimizing processes. One of these methods is proportional-integral-derivative control (PID), which is governed by an integro-differential equation, being one of the most used methods nowadays. Its application flexibility makes it an interesting option for adjusting the direction of a line follower robot. This consists of a robot with the ability to follow a trajectory autonomously. Next to the PID, a braking system was applied that is triggered at closed curves. This achieved a performance gain, making the robot's performance smoother and more accurate. This was of great importance, because through the presentation in events, the robot aroused a lot of interest from young people.

KEYWORDS: Line follower. Robotics. Control.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

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



INTRODUÇÃO

Nas mais diversas áreas da ciência, é possível observar que uma situação problema pode gerar diversas variáveis. Elas surgem ao longo da modelagem do problema, sempre acompanhadas de um erro associado à sua precisão. Visando a solução desses problemas, diversas técnicas foram desenvolvidas ao longo dos anos.

Nesse contexto, existem os métodos de controle, que consistem em equações matemáticas com a função de melhorar o ajuste de uma variável até o seu valor desejado. Tais métodos diferem entre si de acordo com o nível de complexidade e aplicação. Alguns são complexos e foram desenvolvidos para otimizar um equipamento específico. Por outro lado, existem também métodos mais genéricos, com uma diversificada e ampla gama de aplicações. Esse é o caso do método de controle Proporcional-Integral-Derivativo (PID).

Esse método geralmente é aplicado na indústria, sendo o mais utilizado no controle de diversos equipamentos comerciais (FACCIN, 2004). A sua versatilidade é tão grande, que a aplicação pode ser feita em dispositivos menores e menos complexos, como é o caso da aplicação em um robô seguidor de linha controlado por uma placa Arduino.

Nesse artigo é abordado o método PID, que devido a sua flexibilidade de aplicação e eficiência, se mostrou uma boa opção no controle de um robô seguidor de linha. Adicionalmente, implementou-se um sistema de frenagem para a otimização de desempenho em curvas. Esse robô foi desenvolvido com o intuito de ser apresentado em eventos e participar de competições de robótica. Assim, o seguidor de linha é uma ferramenta interessante, pois além de estimular os jovens a saírem da sua zona de conforto, atrai sua atenção para assuntos relacionados as ciências em geral.

MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente estudou-se a possibilidade da otimização de desempenho de um robô seguidor de linha. Assim surgiu a necessidade de implementação de um sistema de frenagem para ação em curvas. Arelado a isso, a otimização do robô foi feita através da implementação de um algoritmo de controle do tipo PID. Toda a construção e testes práticos foram realizados no laboratório de fabricação (FabLab) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Francisco Beltrão.

Representado por uma equação integro-diferencial, o PID pode ser expresso pela Eq. (1), onde $u(t)$ é a saída controlada pelo algoritmo. A variável que será ajustada é denominada setpoint e geralmente é o que estabiliza um sistema. A otimização desse ajuste pode ser feita através do ajuste dos valores das constantes K_P , K_I e K_D , que representam respectivamente o ganho proporcional, integral e derivativo.

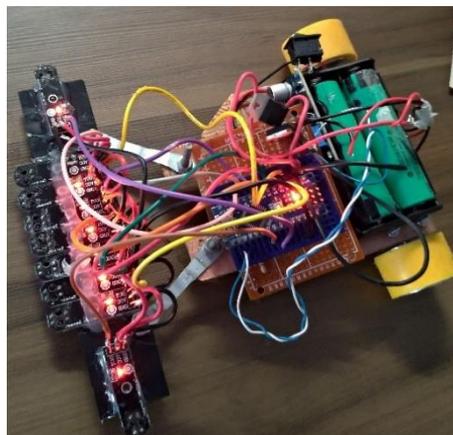
$$u(t) = K_P \cdot e(t) + K_I \cdot \int_0^t e(\tau) \cdot d\tau + K_D \cdot \frac{de}{dt} \quad (1)$$

O erro $e(t)$ é definido pela diferença entre o valor lido e o valor desejado para o *setpoint*. No primeiro termo da equação podemos observar a parte responsável pelo ganho proporcional, onde K_p é multiplicado pelo erro, sendo muito parecido com um ajuste linear simples. Em seguida temos o ganho integral, que basicamente contabiliza um somatório dos erros registrados ao longo do tempo. Por fim temos o ganho derivativo, que leva em consideração a diferença entre a leitura do erro atual e o erro anterior.

Um robô seguidor de linha é um dispositivo capaz de se movimentar em uma trajetória sobre uma linha com o mínimo de desvios possível. Nesse projeto tratamos de um robô seguidor de linha no formato similar a um carro. Na parte frontal possui uma roda livre e na parte traseira duas rodas motorizadas, que são responsáveis pela tração e direção do robô.

A força motriz desse robô é originária de dois motores DC, que possuem rotação máxima de 1100 RPM. A roda livre na parte frontal, permite a mudança de direção em qualquer sentido. Na parte estrutural foram utilizados materiais reciclados de sobras de alguns outros projetos, como placas de fenolite e pedaços de chapa de poliestireno (Figura 1). A alimentação do sistema eletrônico é realizada por células de bateria de notebooks que seriam descartadas.

Figura 1 – Robô seguidor de linha autônomo



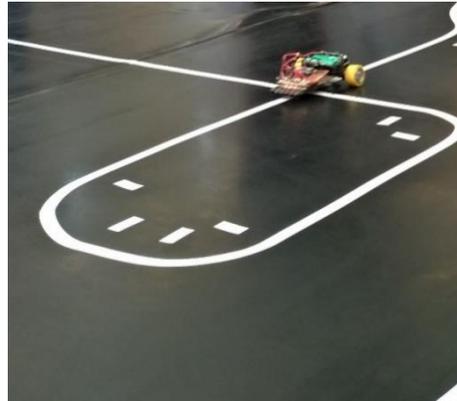
Fonte: Autoria Própria (2020).

Utilizou-se também um Arduino Nano, que possui pinos de modulação de largura de pulso (PWM), os quais permitem a variação de sinal e, portanto, a variação de velocidade em cada uma das rodas (MCROBERTS, 2011). Para a leitura da pista, sensores infravermelhos (IR) foram colocados paralelamente na parte frontal do robô. O controle de velocidade das rodas é realizado através de uma ponte H L298N, que trabalha de forma independente em cada roda, possibilitando também a inversão no sentido de rotação.

A pista de testes foi confeccionada em cores contrastantes, a pista branca e um fundo preto (Figura 2). Nestas condições, os sensores IR são capazes de diferenciar essas cores e mandar um sinal para o Arduino Nano. Esse sinal identifica quais dos sensores estão sobre a linha e, portanto, qual o desvio de trajetória do robô. Assim, entra em ação o PID, que calcula qual o ajuste ideal para que o robô

se mantenha sobre a pista. A partir dessa variável ajustada, o Arduino utiliza os pinos PWM para acionar a ponte H, que faz um ajuste de velocidade nas rodas. Esse ajuste é feito de forma independente, isso possibilita um controle de direção.

Figura 2 – Pista de testes de desempenho



Fonte: Autoria Própria (2020).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente o robô seguidor de linha foi testado com o PID e a ponte H sem inversão de rotação das rodas. Os parâmetros de ganho K_P , K_I e K_D foram ajustados utilizando a técnica de tentativa e erro. Observou-se, porém, que alterações na parte integral não surtiram nenhum efeito no desempenho do robô. Sendo assim, K_I foi definido como zero, resultando em um controle proporcional e derivativo (PD).

Após esses testes iniciais, notou-se que determinados valores de K_P e K_D conferiam um desempenho muito suave e veloz em retas ou curvas mais abertas. Entretanto, ao entrar em uma curva mais fechadas esses ajustes não eram mais suficientes, pois o mesmo acaba saindo da pista. Diante dessa situação, foi introduzido no algoritmo um sistema de frenagem, que altera as constantes do sistema PD quando o robô chega em uma curva, conferindo um ajuste mais intenso.

A identificação de uma curva é feita com um sensor na lateral direita, que faz a leitura dos indicadores de entrada e saída de curvas (Figura 2). Além de alterar K_P e K_D , esse sistema de frenagem inverte a rotação dos motores por alguns instantes, dessa forma na entrada da curva o robô freia. Isso possibilita uma redução brusca de velocidade e um ganho de desempenho considerável. Desta forma o robô que antes trabalhava com aproximadamente 30% de sua potência, consegue utilizar algo próximo de 100%, sem sair da pista em curvas mais fechadas.

Com a intenção de despertar a curiosidades dos jovens para projetos desenvolvidos na UTFPR, o robô já otimizado foi apresentado em diversos eventos internos. Nestes eventos, a universidade recebe alunos de ensino médio e os projetos em andamento são mostrados a eles. Dessa forma, o seguidor de linha é uma ferramenta pedagógica interessante para despertar o interesse dos jovens visitantes. Além disso, o robô foi utilizado em uma competição chamada Salão da

Robótica. O evento foi em Curitiba e aconteceu paralelamente a Olimpíada Brasileira de Robótica (OBR).

CONCLUSÃO

A aplicação de um sistema de controle PID contribuiu para uma melhora de performance. Entretanto, quando associada a um sistema de frenagem, o ganho de desempenho foi significativamente maior, apresentando um comportamento mais suave e preciso. Através da apresentação em eventos, o seguidor de linha cumpriu o papel de despertar o interesse dos alunos no estudo de disciplinas básicas, tais como matemática, física e programação, além de divulgar os cursos da UTFPR.

AGRADECIMENTOS

À UTFPR Câmpus Francisco Beltrão, por ceder o local e equipamentos para o desenvolvimento do projeto. Agradecemos também a Fundação Araucária, pela bolsa ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

MCROBERTS, Michael. **Arduino básico**. São Paulo, SP: Novatec, 2011.

VASCONCELOS, D. M. **O ensino de língua de programação baseado em pedagogia por projetos e EAD colaborativa: estudo de casos em estatística**. 2003. 121 f. Dissertação (Mestrado em Computação) - UECE – CEFET, Fortaleza, CE, 2003.

FACCIN, Flávio. **Abordagem inovadora no projeto de controladores PID**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) –Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.