

CONTROLE DE CARROS AUTOMATIZADOS PARA MOVIMENTAÇÃO EM COMBOIO UTILIZANDO PROTÓTIPO EM ESCALA COM ARDUÍNO

Bianca Antonia C. Mangabeira¹, André de S. Mendes², Fabrizio Leonardi³
^{1,2,3} Engenharia Mecânica, Centro Universitário FEI
 biancaantoniacm.ba@gmail.com fabrizio@fei.edu.br

Resumo: Esta pesquisa tem como objetivo, projetar e implementar um controle, capaz de atender as condições necessárias para a formação de um comboio. Para isso, desenvolverá o modelo dos veículos, a otimização dos ganhos de controle e a validação em protótipo, utilizando Arduino.

1. Introdução

O transporte rodoviário ainda é um dos mais utilizados para traslado de carga e mercadorias em todo mundo, porém, ele enfrenta alguns problemas, como por exemplo, a limitação das pistas, a limitação de mão de obra qualificada em alguns países [3] e principalmente a emissão de gases que colaboram com o efeito estufa [1, 2].

Sendo assim, diversos estudos tem sido realizados para minimizar os problemas e principalmente os impactos deste tipo de transporte. E observou-se que, devido a diminuição do arrasto aerodinâmico, que ocorre quando se aproxima os veículos, o transporte em comboio, isto é, o transporte alinhado e com pequenas distâncias entre veículos, diminui consideravelmente a queima de combustível [1], [2] e por consequência a emissão de gases que colaboram com o efeito estufa.

Todavia, para aplicar este tipo de transporte, é necessário utilizar um controle, capaz de responder rapidamente a variações de distância e de alinhamento entre os veículos, o que não seria possível em veículos convencionais pilotados por humanos.

Sendo assim, este estudo visa dimensionar e validar por meio do microcontrolador arduino, um controle capaz de manter um veículo, em escala, alinhado e equilibrado sobre uma esteira ergométrica. Visando colaborar com as pesquisas realizadas neste ramo, em especial as pesquisas que estão sendo desenvolvidas na Fei pelo grupo de mobilidade dentre elas a do Cruise control e Ecodrive,

2. Metodologia

O controle do sistema foi feito com base no modelo, obtido através da análise da dinâmica longitudinal do veículo. A partir do modelo, obteve-se a função de transferência e com o auxílio do software simulink no matlab, o PID foi projetado e transcrito ao hardware em linguagem C.

Para equacionar o movimento longitudinal, considerou-se o veículo como um corpo rígido, ignorando as suas várias partes internas, como chassi, motores, sistema de direção, dentre outras partes. E analisou-se as forças envolvidas na direção longitudinal,

que resumem-se em força de tração nas rodas e força de resistência. Resultando no modelo da equação 1.

$$\dot{v} = \frac{F}{m} - \frac{1}{2 \cdot m} \cdot c \cdot \rho \cdot a \cdot v^2 \quad (1)$$

Com as integrações numéricas, feita simultaneamente, obtém-se a posição a partir da equação 1. Com a qual é possível analisar a posição de cada veículo, e assim, a distância entre veículos, conforme ilustrado da Figura 1.

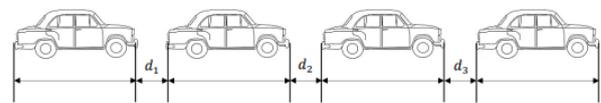


Figura 1 - Dinâmica do Comboio

Através do modelo, obteve-se a função de transferência, equação 2, onde m é a massa do veículo e b é a junção das forças de resistência que atuam sobre ele. Esta função de transferência foi ajustada para os valores do protótipo.

$$\frac{1}{ms+b} \quad (2)$$

O controle do sistema em malha fechada, foi simulado com o software simulink do matlab, e utilizando a função tune¹ do bloco PID os valores de K_p , K_i e K_d foram encontrados para o controle longitudinal.

A equação de PID adotada na programação em linguagem C no arduino, é de um modelo de controle PID sem filtro.

Aplicando a transformada inversa de Laplace, aproximando as partes contínuas em partes discretas (backward Euler) e fazendo as devidas simplificações, no modelo de PID sem filtro [4] escolhido, temos:

$$u[k] = u[k-1] + A e[k] + B e[k-1] + C e[k-2] \quad (3)$$

Onde,

$$A = K_p + \frac{K_i \cdot T}{2} + \frac{K_d}{T}; \quad B = -K_p + \frac{K_i \cdot T}{2} + \frac{2K_d}{T}; \quad C = \frac{K_d}{T}$$

Sendo que os k da equação 3 são os tempos de amostragem, $u[k]$ a saída do controlador e $e[k]$ o erro em função das amostragens.

Já para o controle lateral, por não ser o foco deste estudo, utilizou-se controle ON/OFF.

No hardware do protótipo, utilizou-se um carrinho de controle remoto, devidamente ajustado para ser controlado e para se comunicar através da placa do microcontrolador arduino, permitindo a coleta de dados.

Para coletar os dados da distância longitudinal utilizou-se sensor laser GY-53 VL53L0X Adrafruit (1) com alcance de até 2000mm direcionado para a barreira a frente (2). E para o controle ON/OFF utilizou-se sensores ultrassônicos (3), direcionados às guias laterais (4), conforme Figura 2.

¹ Automatically tune PID controller gains. Disponível em: <www.mathworks.com/discovery/pid-tuning.html>

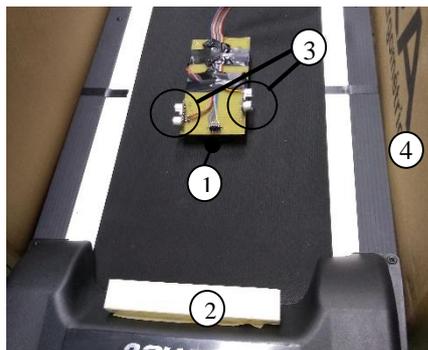


Figura 2 – Carro de controle remoto adaptado para controle via arduino sobre esteira ergométrica

Para obter pista nivelada, sem perturbações e sem curvas, o protótipo foi testado sobre uma esteira, na qual deveria se equilibrar tanto longitudinalmente, como lateralmente.

Os testes foram feitos em basicamente três casos: com o veículo sobre o setpoint sem aplicação de degrau; com o veículo iniciando no setpoint sofrendo após um tempo aplicação de degrau e com o veículo iniciando no setpoint com variação gradativa da distância entre ele e o obstáculo (Figura 2, objeto 2) à sua frente representando o aumento de velocidade de um carro líder.

Para aplicar o degrau, inseriu-se uma barreira entre o carrinho e o obstáculo. Já para aumentar a distância entre o carrinho e o obstáculo, aumentou-se a velocidade da esteira

3. Resultados

O controle longitudinal empregado, por considerar ganhos proporcional, integral e derivativo, acumula os erros no tempo, sendo assim, para testar o sistema, primeiramente ajustou-se o carrinho no ponto de setpoint, para evitar acúmulos de erros inesperados.

Foram realizados testes feitos com os ganhos encontrados a partir da simulação, sendo $k_p=0,2228$, $k_i=0,0104$ e $k_d=1,168$. E foram realizados testes alterando esses ganhos encontrados em 20% para mais e 20% para menos, para cada um dos ganhos, variando um por vez e mantendo os demais fixos, para analisar a influência dos ganhos no desempenho e verificar o controle.

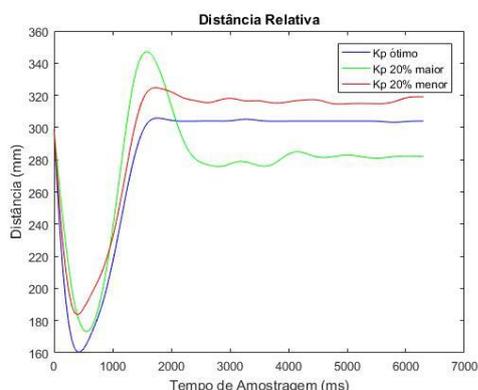


Figura 3 – Resposta do Sistema para o Controle Longitudinal com Diferentes ganhos proporcionais

Na Figura 3 encontram-se as curvas de resultado do sistema para um degrau de 100mm com o ganho de K_p

ajustado pelo Matlab, com K_p superior em 20% ao ajustado e com K_p inferior em 20%.

Para a coleta desses dados esperou-se a estabilidade do sistema, isto é, com o sistema funcionando praticamente sobre o setpoint (distância=300mm) inseriu-se um obstáculo, entre o carrinho e a barreira a sua frente, de forma a diminuir em 100mm a distância.

Este procedimento foi repreendido para cada um dos valores de K_p mencionado, obtendo-se resultados conforme ilustrado na Figura 3. Onde podemos observar através do gráfico que o valor ajustado pelo matlab possibilita a estabilidade do sistema.

Ao repetir os testes várias vezes verificou-se uma dificuldade em analisar a influência dos ganhos, dado que foram encontradas limitações de hardware que causaram grande influência no desempenho do sistema.

A potência do carrinho utilizado e o atrito com a pista, não considerados anteriormente, interferiram significativamente no desempenho. Para aliviar as interferências causadas por hardware, uma das medidas foi retirar o peso de baterias e do controlador (Arduino) do carrinho, conectando esses dispositivos ao carrinho por uma extensão, como pode ser visto na Figura 2.

Apesar das limitações de hardware, que dificultaram a estabilidade do veículo sobre a esteira, o resultado foi positivo e o protótipo equilibrou-se sobre a esteira, tanto longitudinalmente, como lateralmente.

4. Conclusões

A partir da interpretação dos dados obtidos e da conquista da estabilidade sobre a esteira, é possível utilizar um controle PID para este sistema, todavia limitações físicas de hardware devem ser devidamente analisadas e consideradas.

Acredita-se portanto que um veículo mais sofisticado apresentaria melhores resultados, atividade que será abordada em pesquisas futuras.

5. Referências

- [1] Mendes, A. S.; Ackermann, M.; Leonardi, Fabrizio. and Fleury, A. T. (2017). Heavy-duty truck platooning: A review. 24th ABCM International Congress of Mechanical Engineering.
- [2] Yue, W.; Guo, G.; Wang, L.; Wang, W. and Yue, W. (2015). Nonlinear platoon control of Arduino cars with range-limited sensors, International Journal of Control 88: 1037- 1050.
- [3] Tsugawa, S. (2014). Results and issues of an automated truck platoon within the energy ITS project. 2014 IEEE Intelligent Vehicles Symposium Proceedings
- [4] Maya, P. A.; Leonardi, F., 2010. Controle Essencial – 1ª Edição, Pearson Prentice Hall do Brasil

Agradecimentos

À instituição Centro Universitário Fei, aos meus professores e aos meus amigos. À minha família, e à Deus.

¹ Aluno de IC do Centro Universitário FEI, R.A.:12.216.113-6. Projeto com vigência de nov/17 a out/18.