

CONTROLE DA DINÂMICA LONGITUDINAL DE UM VEÍCULO EM ESCALA NA FORMAÇÃO DE COMBOIO

Thomas Montoro Lazzaro¹, André de Souza Mendes²

^{1,2} Engenharia Mecânica, Centro Universitário FEI

unietlazzaro@fei.edu.br, asmendes@fei.edu.br

Resumo: O principal objetivo deste projeto de pesquisa é o desenvolvimento de um sistema de controle longitudinal para um veículo em escala utilizando Arduino. O controlador desenvolvido visa manter o veículo em uma trajetória longitudinalmente estável e acompanhar uma distância frontal desejada, simulando as condições de um comboio veicular. A condução dos testes em esteira ergométrica avalia o controlador em diferentes velocidades. Os próximos passos consistem em evitar oscilações observadas e análise dos resultados.

1. Introdução

O transporte de mercadorias no Brasil apresenta ampla dependência do modal rodoviário, com mais de 60% da carga movimentada por rodovias [1]. Contudo, esse sistema de transporte enfrenta desafios relacionados à infraestrutura e às emissões de gases de efeito estufa, devido ao uso predominante de combustíveis fósseis [2]. Tecnologias recentes, como otimização de trens de potência, eletrificação de veículos e comboios veiculares, oferecem soluções para mitigar esses impactos e atender à demanda de transporte de carga [3]. A formação de comboio é caracterizada por veículos trafegando em fila próximos entre si e torna-se possível com o auxílio de sistemas de controle [4], reduzindo a necessidade de intervenção humana. A redução do consumo de combustível, a diminuição das emissões de gases de efeito estufa na atmosfera e a otimização do fluxo de tráfego nas rotas de transporte estão entre os principais benefícios da formação de comboio [5].

2. Revisão Bibliográfica

Veículos autônomos em escala reduzida representam uma plataforma prática não apenas para fins educacionais, mas também para pesquisas, oferecendo aplicabilidade em diversos campos, como sistemas de controle, inteligência artificial e visão computacional [6].

Explorando as capacidades do sistema em situações de risco de segurança, [7] apresentam um banco de testes de caminhões em escala denominado *Cyclops*. A plataforma de pesquisa aberta consiste em três caminhões semirreboques totalmente autônomos em escala, equipados com um sistema de percepção que inclui sensores, plataformas de computação e componentes de comunicação sem fio. Para tarefas de controle lateral, uma câmera é usada para detecção de faixa, enquanto um sensor LiDAR fornece medições de distância longitudinal. Juntamente com o *hardware*, são desenvolvidos algoritmos para controle de velocidade, controle de distância frontal e controle lateral de manutenção de faixa para o comboio. O projeto apresentado é aplicável para testar cenários do mundo real, e mesmo que o veículo líder no comboio seja autônomo, a plataforma desenvolvida permite a

implementação de diferentes estratégias de controle de forma acessível para pesquisa.

3. Metodologia

O modelo de veículo em escala 1:10 *Traxxas Slash 4x4 Ultimate* foi utilizado como protótipo para a avaliação do controlador longitudinal desenvolvido. Esse modelo conta com o sistema de direção acionado por servo motor e o sistema de transmissão de potência, que conta com um eixo cardan e tração 4x4, sendo o motor elétrico *brushless Velineon 3500* que alimenta o trem de potência. Além disso, o veículo também dispõe de um sistema de bateria embarcada, que fornece energia sem depender de fontes externas.

A condução dos testes foi feita com o auxílio de um Arduino MEGA e um sensor ultrassônico, além de fios que possibilitaram a conexão com o próprio sistema de comunicação do veículo. Uma plataforma elevada permite a acomodação do microcontrolador acima do chassi, e o sensor ultrassônico é posicionado na dianteira do veículo, fornecendo em tempo real leituras da distância em relação a obstáculos à frente. Com o objetivo de simplificar a condução dos testes de manutenção da distância longitudinal, uma esteira ergométrica foi empregada, e as diferentes velocidades estipuladas simulam as velocidades de um veículo líder hipotético. Para isso, conforme observado na Figura 1, uma barreira foi posicionada na esteira logo à frente do veículo de modo que ficasse estática, representando a traseira do veículo líder.

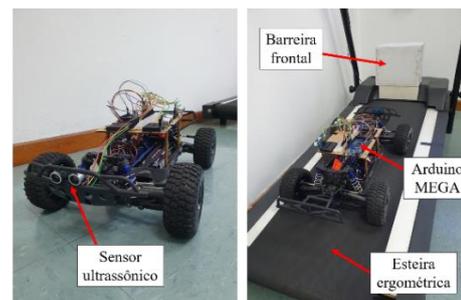


Figura 1 – Configuração dos equipamentos durante os ensaios.

A lei de controle desenvolvida tem como objetivo manter uma distância constante entre o veículo na esteira e a barreira à sua frente, rejeitando perturbações ocasionadas pela dinâmica de movimentação. Dessa maneira, a avaliação do controlador em uma simulação de comboio veicular foi realizada com apenas um veículo.

O controlador longitudinal tem o objetivo de manter uma distância desejada x_{des} entre o veículo controlado e o veículo precedente, representado por uma barreira à frente do veículo, conforme Figura 2. Dessa maneira, o

controle do veículo sobre a esteira é atingido a partir da medição da distância x usando o sensor ultrassônico frontal.

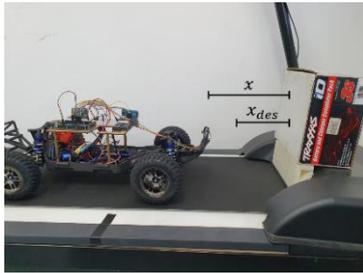


Figura 2 – Representação da distância lida pelo sensor e a distância desejada estabelecida.

Apresentando a lógica de controle empregada, o diagrama de controle longitudinal é ilustrado na Figura 3. Um controlador proporcional foi utilizado juntamente com um termo de compensação denominado “*feedforward*”.

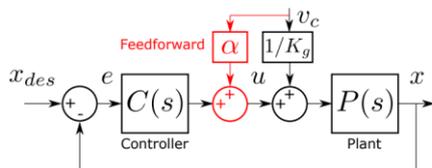


Figura 3 – Diagrama de controle para manutenção da distância longitudinal.

Simultaneamente, um controlador lateral é utilizado para manter o veículo dentro dos limites da esteira. Este sistema de controle está sendo desenvolvido concomitantemente no projeto de pesquisa do aluno Vinicius Pereira Silva.

4. Resultados Parciais

Em um primeiro momento, a programação desenvolvida para Arduino foi testada no veículo previamente equipado com todas as rodas suspensas do solo. Essa etapa teve como objetivo verificar as leituras do sensor ultrassônico mediante aproximação e distanciamento de obstáculos, além disso, também foi testado o acionamento do motor elétrico *brushless* a partir da leitura de distância.

A sequência da condução de testes correspondeu à ensaios dessa vez com o veículo na esteira ergométrica, e através do desempenho do carro frente à diversas variações de velocidade, foi possível definir um valor para o termo *feedforward* e do ganho do controlador proporcional longitudinal de maneira empírica.

Vale ressaltar que ainda não foram implementados na pesquisa meios de documentação gráfica dos resultados, como *Shields datalogger* para Arduino, portanto os resultados discutidos nessa seção são conceituais e ilustrativos. Entretanto, isso será realizado nas próximas etapas desta pesquisa.

A partir da calibração do código depois de testes iniciais, foram conduzidos testes na esteira ergométrica em diferentes velocidades, onde foi observado desempenho satisfatório do veículo na tarefa de

seguimento de referência, com algumas variações na distância desejada estabelecida. Um vídeo de demonstração do ensaio pode ser visto em <https://youtu.be/HrbCeCgtPi0>.

No entanto, foi notado melhor desempenho do veículo no controle da distância desejada em maiores velocidades da esteira, onde o veículo apresentou um comportamento mais gradual no comando do motor elétrico. Por sua vez, em velocidades menores, o carro apresenta comportamento mais reativo na manutenção da distância frontal, demonstrando dificuldade para encontrar um ponto de equilíbrio, de modo que muitas vezes descreve um movimento de oscilação na esteira. Contudo, esse problema também será abordado nas próximas etapas da pesquisa.

5. Conclusões

Em suma, apesar dos ensaios iniciais indicarem bom desempenho no controle longitudinal do veículo na manutenção da distância frontal, ainda há uma série de melhorias necessárias para tornar o controle mais confiável e eficiente.

Como próximos passos da pesquisa, o foco é aprimorar o estudo dos parâmetros de compensação e ganho do controlador, alterar os valores de entrada do controlador através de medições de sinal enviadas ao motor elétrico e incluir dispositivos capazes de realizar a aquisição de dados para verificação dos resultados obtidos. Além disso, aperfeiçoamentos no hardware do conjunto também são alvos da pesquisa, que visam otimizar a fixação do sensor e microcontrolador no chassi, evitando vibrações que possam interferir na leitura da distância.

6. Referências

- [1] CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE. Boletim estatístico. [S.I.: s.n.], 2018.
- [2] De Abreu, V.H.S.; Da Costa, M.G.; Da Costa, V.X. et al. The Role of the Circular Economy in Road Transport to Mitigate Climate Change and Reduce Resource Depletion. *Sustainability* 2022, 14, 8951.
- [3] Liang, K.-Y., Deng, Q., Martensson, J. et al. (2015). The influence of traffic on heavy-duty vehicle platoon formation. *2015 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 150–155.
- [4] de Souza Mendes, A., Fleury, A., Ackermann, M. et al. (2017). Heavy-duty Truck Platooning: A Review. *Proceedings of the 24th ABCM International Congress of Mechanical Engineering*.
- [5] Hucho, W. H. and Ahmed, S. R., 1998. Aerodynamics of road vehicles: from fluid mechanics to vehicle engineering. Society of Automotive Engineers.
- [6] Bogrecki, I., Demircioglu, P., & Goren, M. Y. (2024). Low-Cost Small-Scale Autonomous Vehicle. *Journal of Automation, Mobile Robotics and Intelligent Systems*, 18(1), 25–34.
- [7] Lee, H., Park, J., Koo, C. et al. (2022). *Cyclops: Open Platform for Scale Truck Platooning*.

¹ Thomas Montoro Lazzaro (FEI). Projeto com vigência de 02/2024 a 01/2025.