

1

Introdução

O trânsito nas estradas está ficando cada vez mais intenso, ao passo que os acidentes, o tempo de percurso, e o *stress* aumentam a cada dia devido a esse fato. Resultados de pesquisas já mostram que, em pouco tempo, será necessário ampliar as estradas de modo a comportar o crescimento do número de veículos circulando e não prejudicar o escoamento de cargas entre os estados.

Pesquisas sobre sistemas de transportes inteligentes para melhorar a segurança, a eficiência e o conforto do trânsito de veículos, estão sendo feitas em todo o mundo. Construtoras de veículos, centros de pesquisa e entidades governamentais estão trabalhando em grandes programas objetivando tornar os veículos cada vez mais autônomos e menos suscetíveis a acidentes. Pode-se destacar, dentre esses programas, o *Advanced Cruise-Assist Highway System*, *Intelligent Vehicle Initiative* e o *Partners for Advanced Transit and Highway*. Todos eles empreendendo pesquisas, principalmente na área de controle e sensoriamento para aplicação em veículos e nas próprias estradas.

Uma das soluções discutidas há algum tempo para resolver esse problema sem a necessidade de ampliação de grandes vias é o chamado *Automatic Vehicle Control* (AVC) introduzido nos *Automated Highway Systems* (AHS) (Shladover, IEEE), mais conhecido como estradas inteligentes, onde o veículo recebe informação dos carros ao redor e da estrada, e controla sua trajetória na via de acordo com um objetivo pré-determinado (Figura 1), maximizando a velocidade, a segurança e conseqüentemente o tempo para o destino, diminuindo ainda o *stress*. Para que isso aconteça é necessário um total controle do veículo e uma complexa coordenação entre eles e a estrada, abrindo um grande campo para pesquisas nessa área.

Uma das partes mais importantes em um sistema veicular, o ser humano, é também a parte mais frágil, sujeita ao *stress*, a fadiga e ao cansaço. A grande maioria dos acidentes de carro são causados por falha humana. Para aqueles engenheiros envolvidos com a automação e a robótica, a solução é simples, trocar o homem pelo computador ou, não sendo tão radical, supervisionar e agir de maneira a evitar um acidente.

Pode-se distinguir três tipos de sistemas de controle veicular: aquele que informa com antecedência sobre possíveis colisões ou problemas, aquele que avisa a tempo de o motorista tomar alguma ação corretiva, e aquele que de forma parcial ou integral toma a ação pelo motorista.

Sistemas de desvio de obstáculos, mudanças de pista inteligente e previsão de colisões estão no escopo de pesquisa de instituições empenhadas nos AHS. Esse é um problema complicado que requer um grande conhecimento da dinâmica do veículo em questão e técnicas de controle apuradas. Resultados dessas pesquisas já estão aparecendo no mercado e grande parte dos veículos mais modernos estão vindo equipados com dispositivos que não só ajudam o motorista na tomada de decisões como também durante a realização de manobras.

Como sugere o nome, sistema de estrada automatizada, o conceito prega a automação completa do veículo e da rodovia, deixando ao motorista poucas escolhas de dirigibilidade. Os principais argumentos dos idealizadores são segurança e rapidez.



Figura 1: Veículos autônomos percorrendo uma estrada.

A idéia é de formar grandes grupos de carros a medida que eles vão entrando na estrada. A distância entre os veículos desses grupos pode ser bem

menor que a distância de segurança determinada hoje em dia, pois o sistema tem uma capacidade de reação mais rápida do que o homem. Dessa forma pode-se organizar melhor os veículos nas pistas e aumentar a eficiência de transporte e tempo de percurso. No caso de colisões, como a distância entre eles é menor, a velocidade relativa de impacto também é menor, outra vantagem de se manter uma distância entre veículos curta é o benefício aerodinâmico do arraste, que quando diminui economiza no consumo de combustível.

Para tal é necessário que os veículos sejam completamente automatizados, o que requer o desenvolvimento de novos sistemas de comunicação, sensoriamento e atuadores, assim como análise de inteligência, hierarquia e estruturas de controle.

Dentro do cenário introduzido, esse trabalho se propõe a estudar diversas técnicas de controle de trajetória aplicado a veículos terrestres, atuando na dinâmica lateral a partir de informações do veículo e do meio que ele se desloca. Diferentes metodologias de controle sobre modelos do veículo com complexidade distinta serão estudadas de modo a identificar suas limitações e ponderar entre o tipo de modelo e de controle. É importante ressaltar que apesar de os modelos e os controladores serem lineares, a relação entre o veículo e a pista é não linear ao passo que envolve transformações trigonométricas de senos e co-senos.

1.1. Motivação

Esse trabalho visa contribuir não só na área de transporte mas também no âmbito industrial, diante das seguintes motivações:

- Pode ser aplicado no controle de frotas de veículos para teste de componentes, aumentando o tempo de testes e diminuindo o risco para o piloto.
- Transporte de carga e material no interior de indústrias.
- Incursão em regiões de risco, sem necessidade da presença humana.
- Situações perigosas como extinção de incêndios e transporte de carga perigosa.

- Pode ser adaptado para máquinas agrícolas para plantio e colheita.
- Reconhecimento de falhas humanas e a partir delas testes de colisão podem ser realizados, melhorando a segurança do passageiro.

Dentre todas, as maiores motivações são os AHS (*Automated Highway Systems*) que implementarão sistemas de controle de trajetórias apurados para remanejamento dos veículos e otimização do trânsito e a reprodução do comportamento humano na direção do veículo, que pode contribuir para o estudo de colisões e melhorar a segurança.

Uma grande motivação pessoal de trabalhar com esse tema é o interesse na área de veículos com possibilidade de desenvolver sistemas de controle que melhorem o desempenho e tragam mais segurança para todos os usuários.

1.2. Objetivo Geral

O objetivo geral (ou principal) desse trabalho é apresentar uma metodologia para se estudar o problema de controle da dinâmica lateral de um carro percorrendo um percurso pré-definido. Serão aplicadas técnicas de controle clássico e controle moderno no rastreamento de trajetórias pré-definidas e manobras de mudança de pista. O comportamento do veículo será analisado para diferentes velocidades. Essas técnicas de controle serão aplicadas ao modelo cinemático e a um modelo linear de quatro graus de liberdade. Pretende-se estudar o comportamento dos controladores projetados a partir de técnicas lineares em malhas de controle que possuam não linearidades (Tabela 1).

	Controle Clássico	Controle Moderno	Controle Ótimo
Modelo cinemático			
Modelo linear em malha linear			
Modelo linear em malha não linear			

Tabela 1 : Tipos de Modelo x Estratégias de Controle.

Com essa comparação espera-se observar as limitações das técnicas de controle e dos modelos utilizados e poderá se observar a influência dos efeitos dinâmicos entre o modelo cinemático e o modelo linear assim como a influência das não linearidades da malha.

1.3. Objetivos Específicos

Outro objetivo é poder avaliar qual o melhor modelo, ou o modelo suficiente que atende a uma dada situação. Uma mudança de pista talvez não precise de um modelo tão complexo como o não linear, já uma manobra de emergência pode requerer tal complexidade. Só a comparação entre os resultados irá dizer quais as diferenças significativas que aparecem em um modelo e são desprezadas no outro.

Pode-se ainda avaliar qual dos controladores melhor representa o comportamento de um homem ao volante. A tentativa de se obter um controlador que se aproxime ao máximo de um motorista faz parte de um outro grande campo de pesquisa, que trabalha com o objetivo de simular não só o tráfego de carros em ruas e estradas como também tentar reconstituir acidentes e prever as ações humanas ao volante para que se possa auxiliar nas manobras.

1.4. Revisão Bibliográfica

Na referencia [8] de Speranza e Spinola, foi abordado o problema de rastreamento de trajetórias abertas com a utilização de um modelo cinemático do veículo, nos trabalhos [6] e [7] de Speranza, Spinola e Hey o mesmo modelo cinemático foi utilizado, mas a condição de trajetória fechada foi considerada, sendo que em [7] foi também utilizado um modelo dinâmico do veículo. A referência [10] de Hedrick oferece um panorama geral de *automated highway systems* (AHS) e fala das motivações, áreas de pesquisa e grupos de trabalho espalhados pelo mundo.

Na dissertação de Spinola [9], são desenvolvidos modelos lineares e não lineares para o veículo e são aplicadas técnicas de controle linear e não linear para representar a manobra de mudança de pista de um veículo.

Horowitz [13] aborda um pouco de controle aplicado às AHS, tratando o sistema estrada+veículo como um todo e definindo uma hierarquia de controle. Shladover [12] segue a mesma linha de pesquisa falando do protótipo de estrada na California e da linha de pesquisa abordada pelo *California PATH Program*. Por fim, Freund [14] descreve uma técnica não linear para controle de veículos autônomos.

Em nenhum dos trabalhos foi observado o tratamento dado aqui para o problema. Essa dissertação reúne a definição das pistas do modelo e de alguns controladores, as referencias bibliograficas contribuíram para a formação da base da dissertação e o rumo que ela tomou.

1.5. Estrutura da Dissertação

O primeiro capítulo da dissertação mostra uma introdução da área de aplicação do trabalho, assim como algumas motivações e objetivos.

No segundo capítulo é mostrada a topologia da malha de controle, como é representada a referência e como se compara as variáveis do modelo com a referência.

O terceiro capítulo começa apresentando o modelo cinemático de um veículo. É mostrado como se constrói a malha de controle com esse modelo e

técnicas de controle clássico são utilizadas para controlar o veículo sobre trajetórias abertas e fechadas.

No quarto capítulo é apresentado o modelo linear de quatro graus de liberdade. São obtidas as funções de transferência desse modelo e controladores clássicos do tipo proporcional e proporcional derivativo são usados para controlar o veículo. Na primeira parte do capítulo toda a malha de controle é linear, em seguida avalia-se o desempenho do controlador projetado para a malha linear em uma malha não linear, ou seja, com troca de referencial não linear.

O capítulo cinco considera o mesmo controlador e a mesma malha linear, mas realimenta além da posição do C.G. do veículo o ângulo de *yaw* na malha de controle.

O capítulo seis trata o problema por controle moderno. O modelo é o mesmo de quatro graus de liberdade, mas se tenta obter melhores resultados com um controlador de estado.

O sétimo capítulo é um primeiro passo para se pensar na definição de uma trajetória ótima para ser percorrida pelo veículo, ele trata o problema de tempo mínimo para se percorrer uma curva.

O capítulo oito conclui o trabalho com comentários e sugestões para futuras pesquisas.

Para que se possa controlar um dado sistema é necessário observar e medir suas variáveis de saída para determinar o sinal de controle, que deve ser aplicado ao sistema a cada instante. Em geral, para tornar o sistema mais preciso e fazer com que ele reaja à perturbações externas, o sinal de saída é comparado com um sinal de referência, gerando assim um erro que será usado para determinar o sinal de controle. O sinal de controle é calculado de forma a corrigir esse erro. O que determina o sinal de controle a ser aplicado ao sistema é o chamado controlador ou compensador. Essa estrutura é chamada de malha de controle. Para se projetar um sistema de controle é preciso conhecer o modelo do sistema a ser controlado para que se possa calcular o controlador ideal, e também que as variáveis usadas pelo controlador possam ser medidas ao longo do processo. Visto isso é possível simular toda a malha computacionalmente e obter um ajuste de controlador que possa ser testado no sistema real.

A malha de controle que será adotada nesse trabalho é composta pelo modelo do veículo, pelo modelo do controlador e por um sistema que calcula o erro entre as variáveis do veículo e os seus valores desejados em relação a pista que se segue. Perturbações externas não serão consideradas nas simulações nem no projeto dos controladores.