

1

Introdução

Nos recentes anos, os estudos de identificação e estimação de sistemas dinâmicos [1], são amplamente aplicados em diversas áreas da engenharia. Em sistemas veiculares, a identificação de modelos matemáticos que representam o comportamento dinâmico do veículo, fornecem uma base para o desenvolvimento de controladores, tais como: controle eletrônico de estabilidade (ESC, por seus índices em inglês) e controle anti-capotamento, como também para a otimização de algum de seus subsistemas [2]. Vários modelos e métodos de estimação, baseados em técnicas de otimização, são utilizados nesta dissertação.

O primeiro requisito para o processo de identificação é ter um modelo adequado do sistema dinâmico em estudo. Existem três tipos de modelos que podem ser utilizados para tal fim, estes são: *Black-box*, *Grey-box* e *White-box* [3]. No modelo do tipo *Black-box* o usuário não tem qualquer conhecimento de suas funções internas, portanto a única forma de interatuar com ele é por meio de funções que permitam a entrada de dados ao modelo e sua resposta. Por outro lado, no modelo do tipo *White-box*, existe o conhecimento total de sua lógica interna, normalmente este modelo é desenvolvido pelo usuário, e seu uso pode reduzir o número de parâmetros a serem estimados. O *Grey-box* é uma mistura do *Black-box* e o *White-box*, que pode aproveitar as vantagens destes dois modelos. Na Tabela 1.1, mostram-se os principais modelamentos feitos nos recentes anos.

No estudo da dinâmica de veículos é frequente o uso de modelos do tipo *Black-box* e *White-box*. Os modelos do tipo *Black-box* são fornecidos por *softwares* de simulação dinâmica de veículos, por exemplo: CarSim, CASCaDE, VI-CarRealTime, etc. O modelo do tipo *White-box* é amplamente desenvolvido por pesquisadores nesta área, e são representações matemáticas de diferente complexidade (GDL) de acordo com o requerimento do estudo. Também para este tipo de modelo, é preciso representar adequadamente o comportamento dos pneus, já que este é o subsistema principal que permite o movimento do veículo, isto por meio das forças produzidas pela interação com o solo. Um dos modelos de pneu mais comuns é o feito através de uma formulação empírica conhecida como a Formula Mágica [20].

Tabela 1.1: Modelos de veículo recentemente estudados

Autor	Modelo do Veículo							
	Modelo de bicicleta	Modelo de 3GDL linear	Modelo de 2GDL não linear	Modelo de 3GDL não linear	Modelo de 8-9GDL	Modelo de 14GDL	Modelo <i>black-box</i>	<i>Validação sob dados reais</i>
Fujita et al. [4]	✓							✓
Gao et al. [5]	✓							
Gianone et al. [6]	✓							
Lv et al. [7]	✓							
Mokhiamar et al. [8]	✓							
Nikzad et al. [9]	✓			✓				
Qu et al. [10]				✓				
Huang et al. [11]	✓		✓					✓
Setiawan et al. [12]						✓		✓
Tachyun et al. [13]					✓			✓
Macek et al. [14]				✓				
Abdellatif et al. [15]				✓				
Rozyn et al. [16]				✓				✓
Andreasson J. [17]							✓	✓
Gaefvert et al. [18]					✓			✓
Jaiganesh et al. [19]							✓	

Para cumprir o segundo requisito do processo de identificação, é preciso estimar os parâmetros do modelo (*black-box* ou *white-box*) do veículo. Esta estimação é feita por meio de métodos de otimização, tais como: Evolução Diferencial [21], Busca Generalizada de padrões (GPS, por sua sigla em inglês) [22], Busca Direta com Malha Adaptativa (MADS, por sua sigla em inglês) [23] e o algoritmo de Nelder-Mead [24].

Jaiganesh e Kumar [19], utilizam algoritmos genéticos para estimar parâmetros inerciais e geométricos do veículo, no qual o modelo do tipo *Black-box* é desenvolvido usando o *CarSim*. Huang et al. [2] faz uma estimação dos parâmetros de rolagem, assim como os coeficientes de rigidez da curva dos pneus, utilizando para isto a resposta em frequência em uma manobra randômica com um modelo de 3 graus de liberdade (GDL) e um método de otimização baseado em algoritmos evolutivos.

Existem algumas dificuldades associadas à identificação de sistemas e a estimação de parâmetros que podem tornar as tarefas simples em desafios. Estas dificuldades incluem:

Incertezas Devido ao alto número de parâmetros e variáveis de estado do modelo usado para a estimação, é possível que os resultados não sejam os esperados.

Complexidade Os veículos são sistemas complexos, modelados normalmente com vários GDL. As equações que governam o comportamento do veículo são altamente não lineares.

Confiabilidade e robustez Para a produção de veículos, é imperativo que a operação do sistema dinâmico possa ser garantida numa ampla gama de condições de operação. O alto nível de robustez requerido pode significar que os requisitos do desempenho sejam difíceis de encontrar.

1.1

Motivação

Qualquer acidente que envolva um veículo terrestre, por exemplo, capotamento ou derrapagem, são perigosos e até fatais. No ano 2011, o Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (DNIT) informou que ocorreram 7.352 acidentes por capotamento e 14.699 por derrapagem de um total de 188.925 acidentes no Brasil [25]. Estas estatísticas revelam que os controles no veículo são de vital importância.

O Sistema Eletrônico de Estabilidade (ESC, por sua sigla em inglês) pode evitar ou minimizar a derrapagem dos veículos, por outro lado o controle de estabilidade anti-capotamento (RSC, por sua sigla em inglês), tenta evitar o capotamento. Na Figura 1.1 e 1.2, observa-se manobras do tipo *Fishhook* e *Double Lane Change* (DLC) [26] de um veículo com e sem ESC.

Para que estes sistemas de controle atuem adequadamente, é preciso ter um bom modelo matemático. Isto requer que seus parâmetros dinâmicos estejam estimados corretamente. Diante deste cenário, identificar um sistema dinâmico e estimar seus parâmetros é fundamental para minimizar ou até evitar acidentes veiculares.



Figura 1.1: Simulação de um veículo realizando uma manobra tipo "Fishhook". O veículo amarelo está com RSC e o cinza sem RSC.



Figura 1.2: Simulação de um veículo realizando uma manobra tipo "DLC". O veículo amarelo está com ESC e o azul sem ESC.

1.2

Objetivos do trabalho

A presente dissertação tem como objetivo principal a estimação dos parâmetros dinâmicos e a calibração do modelo matemático de um veículo terrestre de 4GDL, a fim de que o modelo matemático seja capaz de representar o comportamento real do veículo.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

1. Desenvolver um modelo dinâmico do veículo com 4GDL. Esta modelagem será feita na plataforma MATLAB.

2. Desenvolver um modelo dinâmico do veículo com a biblioteca de ligações dinâmicas (DLL) do programa de simulação veicular. Este modelo é do tipo *black-box*.
3. Estabelecer um método de sensibilidade para determinar os efeitos das mudanças dos parâmetros na resposta do sistema dinâmico desenvolvido.
4. Aplicar diversos métodos de otimização para a estimação dos parâmetros dinâmicos do veículo.
5. Calibrar o modelo matemático do veículo, inserindo os parâmetros dinâmicos estimados pelo método de otimização que apresentou um melhor desempenho.

1.3

Organização da dissertação

Neste primeiro capítulo, se apresentou como foco de estudo a estimação dos parâmetros dinâmicos de veículos terrestres por meio de métodos de otimização, as motivações para desenvolver este trabalho e por último os objetivos e a abordagem geral da dissertação.

No Capítulo 2, os conceitos fundamentais que envolvem o modelamento matemático do veículo e os distintos enfoques para o acoplamento de seus subsistemas. Igualmente é descrita a dinâmica do veículo, feita integralmente com MATLAB, de 4GDL, e também apresenta-se a validação do modelo matemático.

No Capítulo 3, são detalhados os métodos de otimização utilizados neste trabalho, seus fundamentos e suas aplicações nos problemas de identificação.

No Capítulo 4, apresenta-se a metodologia de estimação utilizada, fazendo um estudo prévio de sensibilidade dos parâmetros em relação à dinâmica do veículo. Também é explicado o procedimento numérico utilizado, assim como a definição da função objetivo empregada em cada método de otimização para estimar os parâmetros dinâmicos.

No Capítulo 5, apresenta-se os resultados numéricos obtidos por todos os métodos de otimização utilizados, destacando o melhor deles obtido do teste de hipótese.

Finalmente, no Capítulo 6, as conclusões e análises de acordo com os dados obtidos nas simulações, assim como sugestões para trabalhos futuros.