



DINCON 2017

CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE DINÂMICA, CONTROLE E APLICAÇÕES
30 de outubro a 01 de novembro de 2017 – São José do Rio Preto/SP

Suspensão Semi-ativa com Controlador Fuzzy

Maxwell Cavalcante Jácome¹

Italo Oliveira Rebouças²

Engenharia Mecânica, UFERSA, Mossoró, RN

Natanael Expedito de Carvalho Mendes³

Bacharelado em Ciência e Tecnologia, UFERSA, Mossoró, RN

Elmer Rolando Llanos Villarreal⁴

Walter Martins Rodrigues⁵

Centro de Ciências Exatas e Naturais, UFERSA, Mossoró, RN

Resumo. A suspensão automotiva é o sistema responsável pelo controle das vibrações oriundas das variações do nível do solo. A modelagem utilizada para análise de uma suspensão se baseia no modelo de um quarto do veículo, o qual será representado dinamicamente em ambiente Simulink®. Para propor um sistema mais eficiente do que a convencional suspensão passiva, cujos parâmetros de rigidez e amortecimento são fixos, propõe-se um sistema de suspensão semi-ativa, em que o parâmetro de amortecimento é variável através de um controlador baseado na linguagem fuzzy. Foram comparadas as respostas de deslocamento e aceleração a fim de verificar a aplicabilidade do controle fuzzy numa suspensão semi-ativa.

Palavras-chave. Suspensão semi-ativa, Controlador Fuzzy, Simulink.

1 Introdução

O funcionamento de mecanismos em geral apresentam naturalmente vibrações indesejadas. No caso de veículos automotivos, o sistema voltado para lidar com tais vibrações é o de suspensão, garantindo o conforto e a estabilidade necessários à condução do automóvel.

¹ maxwellc.jacome@hotmail.com

² italo_reboucas@hotmail.com

³ necmendes07@gmail.com

⁴ elmerllanos@ufersa.edu.br

⁵ walterm@ufersa.edu.br

Os componentes desse sistema são, essencialmente, uma mola (com o objetivo de armazenar a energia das vibrações) e um amortecedor (com o fim de dissipá-la em forma de calor) [4].

Quanto à forma de atuação, a literatura apresenta três modalidades quanto a sua autonomia: sistema passivo, semi-ativo e ativo. Apesar do vasto uso do sistema passivo por sua simplicidade de atuação por conta dos parâmetros fixos de rigidez e amortecimento, o desenvolvimento de novas técnicas de controle e de atuadores mais eficientes permitem a proposta de abordagens ativas e semi-ativas, as quais aperfeiçoam o tempo e qualidade de resposta do sistema abordado. Assim, o aumento da eficiência está associado a uma teoria de controle eficiente.

Com o desenvolvimento de amortecedores em que se utiliza fluido eletroreológico ou magnetoreológico [2], é possível obter equipamentos cujo valor de amortecimento é variável de acordo com a perturbação submetida ao sistema de suspensão. É necessária, então, a elaboração de uma estratégia de controle que, a partir dos dados obtidos por sensoriamento proveniente das variações da pista, gere uma ação de saída, equivalente a um valor de amortecimento.

Propõe-se neste trabalho a aplicação da linguagem difusa (fuzzy), semelhante à tomada de decisões humanas, permitindo meias verdades e meias mentiras. A linguagem fuzzy se apresenta como uma alternativa a vários setores da indústria, principalmente quando a precisão da resposta custa caro ao sistema de controle. A partir dos dados da velocidade absoluta e velocidade relativa, o controlador será capaz de resultar numa resposta para o amortecimento.

Após uma explanação sobre as classificações dos sistemas de suspensão e do método de controle pela linguagem fuzzy, será realizada uma simulação de um sistema convencional (suspensão passiva), o qual será comparado com a resposta de um sistema de suspensão ativa.

2 Métodos

2.1 Suspensão veicular

Uma suspensão passiva consiste de componentes convencionais com propriedades de mola e amortecedor invariantes com o tempo. Os amortecedores são, usualmente, cilindros preenchidos com óleo hidráulico ou gás comprimido, dentro do qual um pistão conectado por uma haste se move. O fluido gera uma força de reação ao movimento do pistão proporcional à velocidade relativa entre as massas por ele interligadas [6].

Se tratando de suspensão semi-ativa, a mesma refere-se a sistemas que não necessitam de energia externa adicional, além daquela necessária para acionar dispositivos como válvulas, bobinas, atuadores, entre outros [3]. Contém elementos de mola e amortecedor, semelhante à suspensão passiva. No entanto, a presença de um controle é capaz de alterar o coeficiente de amortecimento, alterando assim a força de reação do amortecedor.

Por outro lado, a suspensão ativa possui um atuador que, através da aplicação de uma força, pode tanto dissipar energia como armazenar e aplicar uma energia externa para a estabilização do automóvel utilizando dados de sensores ligados ao veículo.

A composição de sua estrutura contém uma mola mecânica, um atuador e a presença ou não de um amortecedor estático. Geralmente os atuadores são hidráulicos ou pneumáticos e eletromagnéticos [6].

O modelo “um quarto de veículo” (do inglês quarter car) simplifica a análise da suspensão de um automóvel, adotando que a massa do veículo se distribui uniformemente

nas quatro rodas e que a atuação de cada amortecedor é independente. O modelo pode variar de acordo com o tipo de suspensão, caracterizado pela presença de um atuador de força no tipo ativo e por um amortecedor variável no caso semi-ativo, como ilustrado na Figura 1.

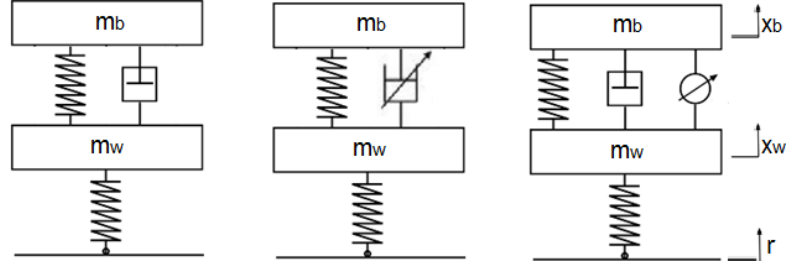


Figura 1: Modelos de suspensão passiva (esquerda), semi-ativa (centro) e ativa (direita)

A massa suspensa (m_b) representa a massa total do corpo (body) dividida por quatro, sendo sustentada imediatamente pela força elástica de uma mola de rigidez “ k_s ”, um amortecedor com coeficiente de amortecimento “ b ”. A massa (m_w) representando a massa fixa do pneu, roda (wheel) e demais componentes a ela associada.

A representação da mola inferior (entre m_w e o solo) se trata da compressibilidade do pneu (k_w). Os eixos x_b , x_w e r indicam, respectivamente, os deslocamentos da massa suspensa, da massa do conjunto pneu-roda, e da superfície de referência, representando esta as variações da pista, sendo assim a fonte das perturbações.

Ao ser feito o somatório de forças em ambos os blocos de massa, é possível chegar a equações diferenciais de segunda ordem que descrevem o movimento.

$$m_b \ddot{x}_b + b_s (\dot{x}_b - \dot{x}_w) + k_s (x_b - x_w) = 0 \quad (1)$$

$$m_w \ddot{x}_w + b_s (\dot{x}_b - \dot{x}_w) + k_s (x_w - x_b) - k_l (r - x_w) = 0 \quad (2)$$

2.2 Controle Fuzzy

A linguagem fuzzy surgiu desde os trabalhos de Lofti A. Zadeh em 1965, quando o mesmo estudava problemas de conjuntos que não apresentavam fronteira definida [5]. As características desta linguagem diferem da usual linguagem booleana de padrões restritos: 0 ou 1, sim ou não, verdadeiro ou falso. O método de controle por linguagem fuzzy se processa em três etapas: fuzzyficação, inferência e defuzzyficação.

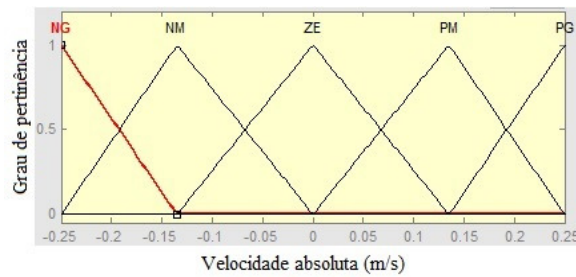


Figura 2: Funções de pertinência da velocidade absoluta.

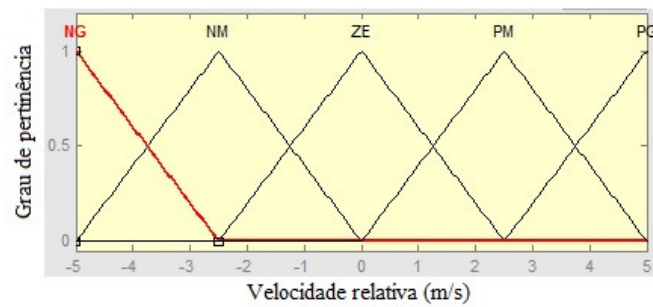


Figura 3: Funções de pertinência da velocidade relativa.

Na etapa de fuzzyficação são estabelecidas as funções de pertinência concernentes às variáveis de entrada, a velocidade absoluta da massa suspensa (Figura 2) e a velocidade relativa entre as massas (Figura 3), sendo necessário estabelecer o domínio de cada.

A resposta do controlador diz respeito à variável de amortecimento, a qual também é composta por cinco graus de pertinência, como na Figura 4.

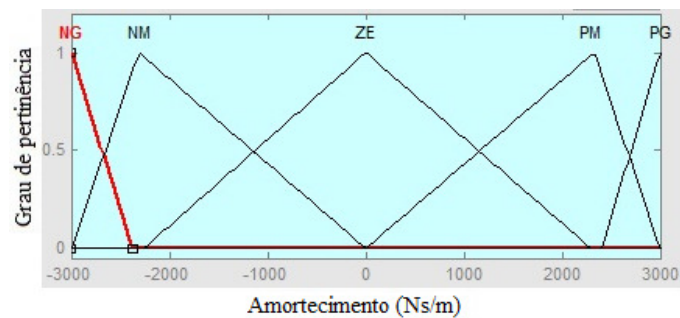


Figura 4: Funções de pertinência do amortecimento.

Através da Tabela 1 é possível notar que com 5 graus de pertinência em cada variável de entrada são necessárias 25 regras de inferência baseadas numa relação if then (se então).

Tabela 1: Regras de inferência.

Amortecimento		Velocidade Absoluta				
		NG	NM	ZE	PM	PG
Velocidade relativa	NG	NG	NG	NM	NM	NM
	NM	NG	NM	NM	NM	NM
	ZE	NM	NM	ZE	PM	PM
	PM	PM	PM	PM	PM	PG
	PG	PM	PM	PM	PG	PG

3 Resultados

Com base nas equações que descrevem o sistema, foi construído um circuito de blocos no ambiente Simulink® representando o fluxo de sinais do sistema (Figura 5). Inicialmente o bloco associado ao amortecimento apresenta valor constante, gerando os gráficos do deslocamento (Figura 6) e da aceleração (Figura 7) da massa suspensa, sendo as respostas que os passageiros estão sujeitos a sentir.

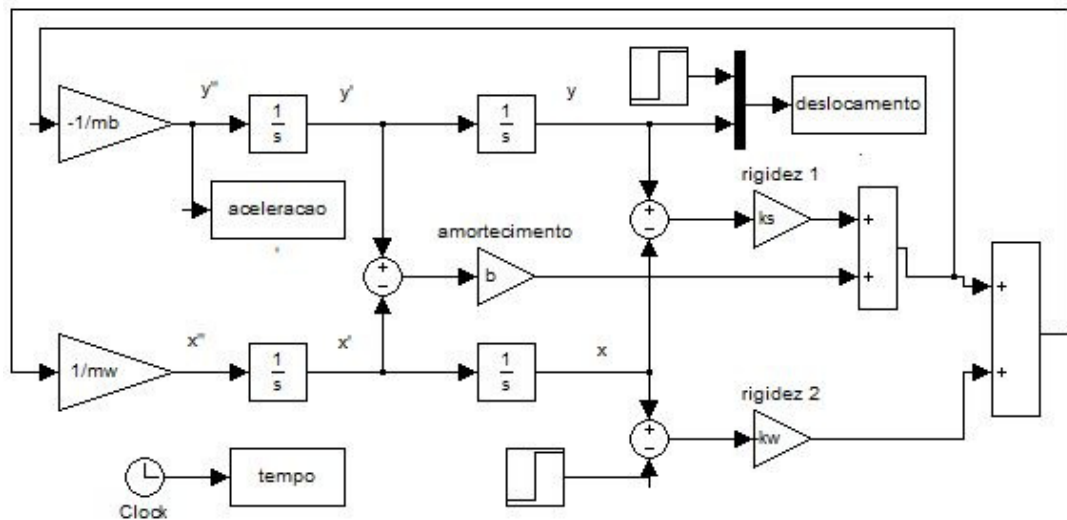


Figura 5: Circuito de blocos no Simulink® para o sistema passivo.

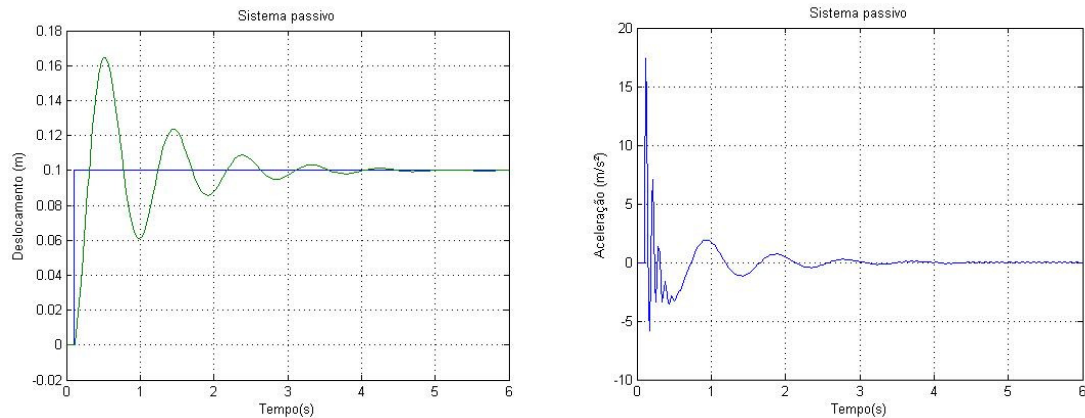


Figura 6: Gráfico do deslocamento (à esquerda) e da aceleração (à direita) da massa suspensa.

Em seguida, o bloco de amortecimento foi substituído pelo controlador fuzzy (Figura 7), o qual recebe como entradas os sinais de velocidade absoluta e relativa. Os gráficos são exibidos na Figura 8.

5 Conclusão

O estudo de novos métodos de controle de suspensões deve acompanhar a evolução dos equipamentos amortecedores. Foi possível demonstrar um modelo de suspensão semi-ativa, o qual se mostrou vantajoso em relação à redução do tempo de estabilização; em contrapartida, exige implementações que tornem a resposta mais regular e com menores picos de atuação. Apesar de adequações no controlador fuzzy se darem por mudanças de parâmetros baseada na tentativa e erro, tal característica permite várias implementações e fornece uma vertente de novos trabalhos que possam buscar uma melhor condição de funcionamento.

Agradecimentos

Agradecemos à Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA) e ao Cento de Ciências Exatas e Naturais (CCEN) por possibilitarem a realização deste trabalho.

Referências

- [1] A. Abu-Khudhair, R. Muresan and S. X. Yang, Fuzzy control of semi-active automotive suspensions, International Conference On Mechatronics And Automation, pp. 2118-2122, (2009), DOI: 10.1109/ICMA.2009.5246409.
- [2] L. A. Gagg Filho, Controle semi-ativo de vibrações com fluido magnetoreológico utilizando LMis e lógica nebulosa otimizada por algoritmo genético, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, (2013).
- [3] A. W. Montini, Estratégia de controle fuzzy para suspensão ativa automotiva, Monografia de Engenharia Elétrica, Universidade São Francisco, (2006).
- [4] S. Rao, Vibrações Mecânicas, 4. ed., Pearson, (2008).
- [5] F. G. B. Sena, Controle fuzzy aplicado à otimização de um sistema eólico de velocidade variável, Dissertação de Mestrado em Sistemas de Comunicação e Automação, Universidade Federal Rural do Semiárido, (2015).
- [6] X. D. Xue et al, Study of art of automotive active suspensions, 4th International Conference On Power Electronics Systems And Applications, vol. 1, 1-7, (2011), DOI: 10.1109/PESA.2011.5982958.