Universidade Federal de Minas Gerais

Departamento de Engenharia Eletrônica

ELT016 – Técnicas de Modelagem de Sistemas Dinâmicos

Professor: Marcelo Alves dos Santos – cidomg32@ufmg.br

Trabalho Final em Grupo

Instruções:

- Cada grupo trabalhará com um sistema dinâmico descrito no livro *Modelagem e Simulação, C. Garcia (2005) EDUSP, São Paulo, 2a. edição.* A escolha dos grupos e temas foram feitas aleatoriamente e estão apresentadas, respectivamente, nas tabelas abaixo.
- O relatório final deve ser entregue no Moodle em formato PDF no dia 05/12.
- Os trabalhos serão apresentados nos dias 06/12 (grupos 1 a 5) e 13/12 (grupos 6 a 10). Cada apresentação terá duração de 15 minutos e todos membros do grupo devem estar envolvidos.
- A presença e participação nas aulas de apresentação dos trabalhos serão consideradas nas avaliações individuais.

Grupo	Integrantes
1	Italo Dias, Eduardo Mendes, Gustavo Ferreira
2	Luan Oliveira, Henrique Barbosa, Juliana Assis
3	Lucas Azevedo, Amanda Pinho, Miguel Pinto
4	Pedro Bahia, Gabriel Lara, Lucas Ferreira, Heuller Silva
5	João Paulo Barbosa, Luis Gustavo Domingues, Laryssa Rodrigues
6	Arthur Reis, Gustavo Pires, Pedro Freitas
7	Jackson Almeida, Thiago Leivas, Leonardo Azevedo, Thales Cadete
8	Pierre Sousa, João Gomes, Izabela Brant
9	João Victor Alves, Mariana Leite, Raul Cunha
10	Filipe Lauar, Gabriel Machado, Letícia Alvarenga

Grupo	Tema
1	Sistema eletromecânico: compressor de ar, p 145
2	Sistema eletromecânico: galvanometro, p 132
3	Sistema fluídico: bombas e tanques, p 184
4	Sistema Químico: reator contínuo com agitação, p 284
5	Sistema eletromecânico: acelerômetro, p 129
6	Sistema fluídico: sistema de abastecimento de água, p 187
7	Sistema termo-hidráulico: reator contínuo com agitação, p 254
8	Sistema térmico: sistema medição temperatura, p 234
9	Sistema térmico: aquecimento de uma casa, p 227
10	Sistema térmico: isolamento de tubos, p 236

Descrição

Cada trabalho deve conter obrigatoriamente as seguintes etapas.

1. **Modelagem fenomenológica**

   - Devem ser revisados os princípios físicos e químicos usados para derivar as equações diferenciais que modelam o comportamento dinâmico de cada sistema.
   - As equações do modelo devem ser escritas em termos dos estados na forma $\dot{x} = f(x,u)$. Sendo o modelo linear, esse procedimento levará à representação em espaço de estados.
   - Escolha valores para os parâmetros do modelo e justifique a sua escolha baseado na literatura ou em produtos existentes no mercado.

2. **Simulação computacional**

   - Para cada uma das entradas do sistema, mantenha as demais entradas em nível constante e aplique 5 degraus de subida e 5 degraus de descida com mesma amplitude, excursionando assim o sistema em uma ampla faixa de operação.
   - Discuta os resultados buscando responder as seguintes questões: O sistema funciona como esperado? Os resultados são plausíveis e compatíveis com um sistema real?

3. **Modelagem caixa-preta: determinístico**

   - Adicione ruído nos dados simulados com relação sinal/ruído de 20 dB. Em seguida, escolha uma das faixas de operação do sistema e aplique algum método determinístico para modelar o sistema.
   - Compare o resultado com as funções de transferência obtidas analiticamente por meio de linearização em torno da faixa de operação escolhida.
   - Compare graficamente o resultado obtido com relação ao modelo fenomenológico.

4. **Modelagem caixa-preta: estocástico**

   - Para a mesma faixa de operação considerada anteriormente, projete e execute um teste (escolha de sinais) para obter dados para identificação. Adicione ruído nos dados simulados com relação sinal/ruído de 20 dB.
   - Escolha um tempo de amostragem adequado para identificação, ou seja, se necessário decime os dados.
   - Defina as relações entrada/saída e a estrutura do modelo utilizando algum dos critérios estudados.
   - Estime os parâmetros do modelo com os dados para identificação.
   - Faça simulações um passo a frente e simulações livre com os dados para validação. Analise os resultados.
   - Verifique o índice RMSE e os resíduos do modelo em termos da sua aleatoriedade e correlação com a entrada.
   - Compare graficamente o resultado obtido com relação ao modelo fenomenológico.

Exemplo de simulação:

Para auxiliá-los, vamos analisar como simular um sistema dinâmico não-linear utilizando a função ode45 do Matlab que implementa um método Runge-Kutta de quarta ordem com passo variável.

Considere um sistema massa-mola com saídas x e $\dot{x}$ e entrada u. A dinâmica do sistema pode ser representada através da equação diferencial de segunda ordem

$$m\ddot{x} + b\dot{x}|x| + k_0 x + k_1 x^3 = u,$$

onde o termo $b\dot{x}|x|$ representa o amortecimento não-linear do sistema e $k_0 x + k_1 x^3$ representa a modelagem não-linear para a mola. A constante de atrito $b = 10\ Kg/ms$, a massa $m = 2\ Kg$, e as constantes da mola $k_0 = 0.5\ N/m$ e $k_1 = 0.1\ N/m^3$ são os parâmetros desse sistema. Note que para simular, o sistema foi escrito como

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \ddot{x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ -\frac{b}{m}\dot{x}|\dot{x}| - \frac{k_0}{m}x - \frac{k_1}{m}x^3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u.$$

Porém, por ser um sistema não-linear, não foi possível escrevê-lo na forma $\dot{x} = Ax + Bu$.

```matlab
% Parametros do modelo
b = 10;
m = 2;
k0 = 0.5;
k1 = 0.1;

dt = 0.1; % Periodo de amostragem
tfinal = 60; % Tempo de simulacao

x = zeros(tfinal/dt,2); % Vetor de saidas
u = [zeros(10/dt,1); ones(50/dt,1)]; % Vetor de entrada

for i = 2:tfinal/dt
        [tout, xout] = ode45(@(t,x)simulaMassaMola(t,x,u(
           i),b,m,k0,k1),[0 dt],x(i-1,:)');
        x(i,:) = xout(end,:);
end

subplot(2,1,1)
plot(0:dt:tfinal-dt,x)
xlabel('Tempo [s]')
ylabel('Posicao [m] e velocidade [m/s]')
legend({'$x$','$\dot{x}$'},'Interpreter','Latex')
subplot(2,1,2)
plot(0:dt:tfinal-dt,u)
xlabel('Tempo [s]')
ylabel('Forca [N]')
legend({'$u$'},'Interpreter','Latex')


function dx = simulaMassaMola(t,x,u,b,m,k0,k1)
        dx = zeros(2,1);
        dx(1) = x(2);
        dx(2) = (-(b/m)*x(2)*abs(x(2)) -(k0/m)*x(1) -(k1/
           m)*x(1)^3 + u);
end
```