

DETECÇÃO E LOCALIZAÇÃO DE FALHAS ESTRUTURAIS UTILIZANDO ATUADORES/SENSORES PIEZELÉTRICOS

C. C. R. Mucchiani¹ (PIBIC/CNPQ)

Orientador: Milton Dias Jr.

DEPARTAMENTO DE PROJETOS MECÂNICOS – FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
UNICAMP – Campinas, São Paulo, BRASIL

¹ caiocesar_m@hotmail.com ² milton@fem.unicamp.br

Palavras-Chave: Integridade estrutural – PZT – Séries temporais



Introdução

O projeto consiste em desenvolver uma metodologia para detecção e localização de danos considerando apenas respostas de deslocamento ou aceleração e medidas obtidas por atuadores e sensores piezoeletricos (PZTs) distribuídos e colados em estruturas flexíveis. As aplicações envolvendo PZTs são baseadas no monitoramento do sinal de impedância elétrica no domínio da frequência.

Através de um modelo de predição auto-regressivo AR, ajusta-se os dados temporais de sinais de vibração em uma condição sem falha, sendo que o erro residual (diferença entre a predição do modelo AR e a medida real) é estimado e utilizado como parâmetro indicador de falha. Para fins de controle, a média e a variabilidade deste parâmetro são utilizados para a construção de gráficos de controle. Um dano na estrutura se caracteriza pela grande quantidade de termos ultrapassantes do limite do gráfico de controle e a partir deste diagnóstico temos a transição de um estado sem falha para um com falha, permitindo a diferenciação e estudo de ambos os casos, para as diversas condições submetidas à estrutura estudada.

Metodologia

À partir de programas implementados em Matlab®, conhecendo-se apenas as respostas das estruturas quando excitadas em alguns graus de liberdade, harmonicamente ou não, faz-se a investigação de falhas em estruturas simuladas computacionalmente. Visto que as simulações podem ser aplicadas à estruturas reais, é de grande utilidade o estudo e implementação desta técnica, sendo para tanto simuladas e analisadas várias situações distintas. Por serem estudadas as respostas das estruturas, a investigação gráfica é de grande importância e foi privilegiada no projeto.

Análise de Séries Temporais

Para este projeto, dois modelos são estudados: modelos auto-regressivos e auto-regressivo com entradas exógenas (AR-ARX). Para estes modelos considera-se que o sinal de entrada não é medido (apesar de ser admitido de natureza conhecida). Estes modelos são úteis para serem usados na detecção de danos em estruturas a partir de medidas apenas de respostas (métodos globais). Todos estes modelos foram obtidos neste projeto com o auxílio de rotinas do toolbox identificação de sistemas para Matlab®, por L. Ljung (1998).

Resultados e discussões

Para o sistema de 4 Graus de Liberdade (GDL) mostrado na Fig 1, foram calculadas as matrizes de massa (M), amortecimento (C) e de rigidez (K). Os resultados foram os seguintes:

$$M = \begin{bmatrix} m1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m4 \end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix} (k1+k2)/M & -k2/M & 0 & 0 \\ -k2/M & (k2+k3)/M & -k3/M & 0 \\ 0 & -k3/M & (k3+k4)/M & -k4/M \\ 0 & 0 & -k4/M & (k4+k5)/M \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} (c1+c2)/M & -c2/M & 0 & 0 \\ -c2/M & (c2+c3)/M & -c3/M & 0 \\ 0 & -c3/M & (c3+c4)/M & -c4/M \\ 0 & 0 & -c4/M & (c4+c5)/M \end{bmatrix}$$

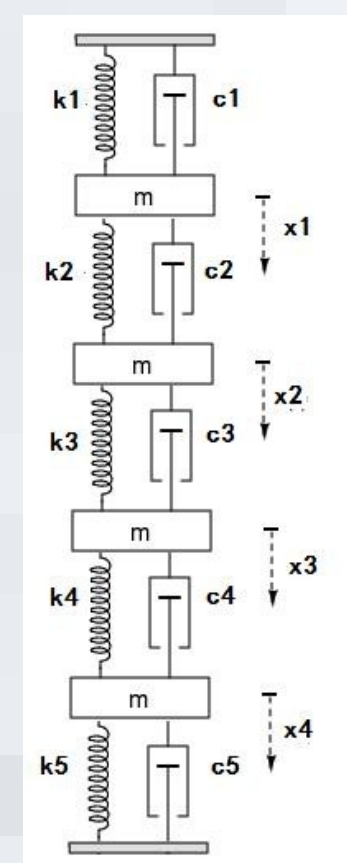


Figura 1 - Sistema de 4 graus de liberdade estudado no projeto

Este sistema foi utilizado para verificar se a metodologia utilizada para detecção de danos apresenta os resultados desejados. A introdução de danos se faz através da variação das rigidez do sistema. Para simular condições operacionais distintas, este sistema foi submetido a diversas excitações descritas nas Tabelas 1e 2:

Caso	Excitação	Amplitude	Ruído RMS
1	Aleatória (1 a 100 Hz)	1N	0%
2	Aleatória (1 a 100 Hz)	3N	15%
3	Harmônica (GL 2: 11Hz / GL4: 19Hz)	GL2: 1N / GL4: 1N	0%
4	Harmônica (GL 2: 11Hz / GL4: 19Hz)	GL2: 1N / GL4: 1N	15%

Tabela 1 – Condições sem dano

Caso	Excitação	Excitação	Amplitude	Ruído RMS
5	Sem dano	aleatória	2,5N	0%
6	Sem dano	aleatória	1,5N	20%
7	k2 = 3600N/m	aleatória	2,5N	10%
8	k2 = 3800 N/m e k4 = 7600 N/m	aleatória	1,5N	10%
9	k2 = 3800 N/m, k4 = 7600 N/m e k5 = 9500 N/m	aleatória	1,5N	10%
10	Sem dano	harmônica	GL2: 1N/ GL4: 2N	0%
11	Sem dano	harmônica	GL2: 1N/ GL4: 2N	10%
12	k2 = 3600 N/m	harmônica	GL2: 1,5N/ GL4: 1,5N	10%
13	k2 = 3800 N/m e k4 = 7600 N/m	harmônica	GL2: 1,5N/ GL4: 2,5N	10%
14	k2 = 3800 N/m, k4 = 7600 N/m e k5 = 9500 N/m	harmônica	GL2: 1,5N/ GL4: 2,5N	10%

Tabela 2 – Condições desconhecidas

Para cada caso (com ou sem dano) descrito nas Tabelas 1 e 2, foram gerados gráficos através do programa implementado em MATLAB®, desenvolvido por Samuel da Silva (2008) em sua tese de doutorado e aperfeiçoadas pelo professor orientador Milton Dias Júnior.

Para os casos de 1 a 4, simulados do mesmo modo em que são descritos pela Tabela 1, temos que a matriz de covariância possui um autovalor que assume um valor dominante de 70% em relação aos demais autovalores (ver Figura 2). Assim, o primeiro autovalor é dominante e sobre este é feita a compressão dos dados e projeção no autovetor correspondente.

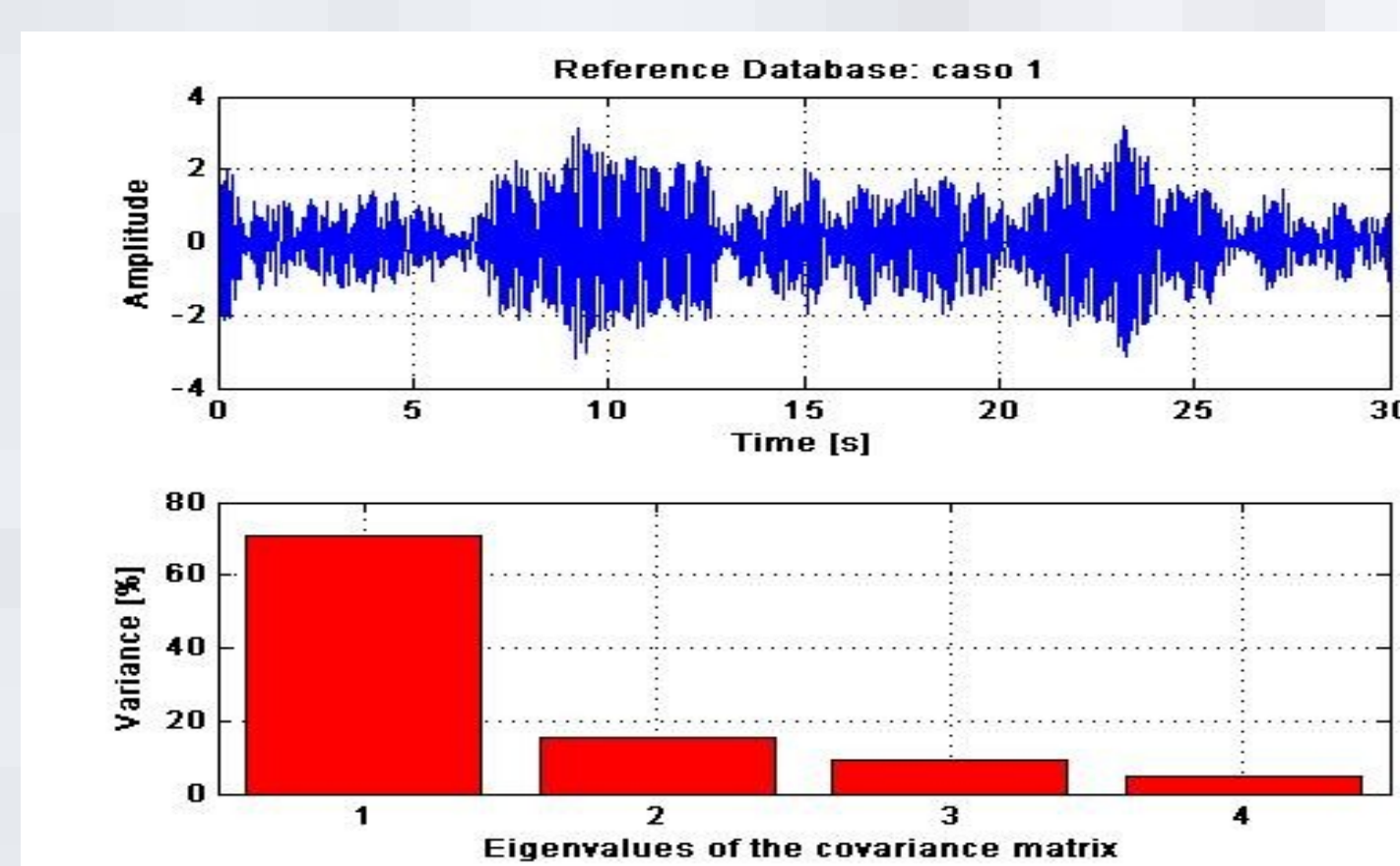


Figura 2 – Distribuição dos autovalores para o caso 1

A função de correlação cruzada do modelo AR (teste de resíduos associados com o modelo) para o caso 1 apresenta valores dentro do patamar aceitável (segundo a Figura 3).

A análise de resíduos mostra que a correlação entre a saída do modelo e o erro residual também permanece dentro do intervalo de confiança nos casos 2 e 4, com aproximadamente 90% dos dados nesse intervalo. Na Figura 4, nota-se uma compatibilidade de aproximadamente 95% entre o modelo de predição AR e o medido.

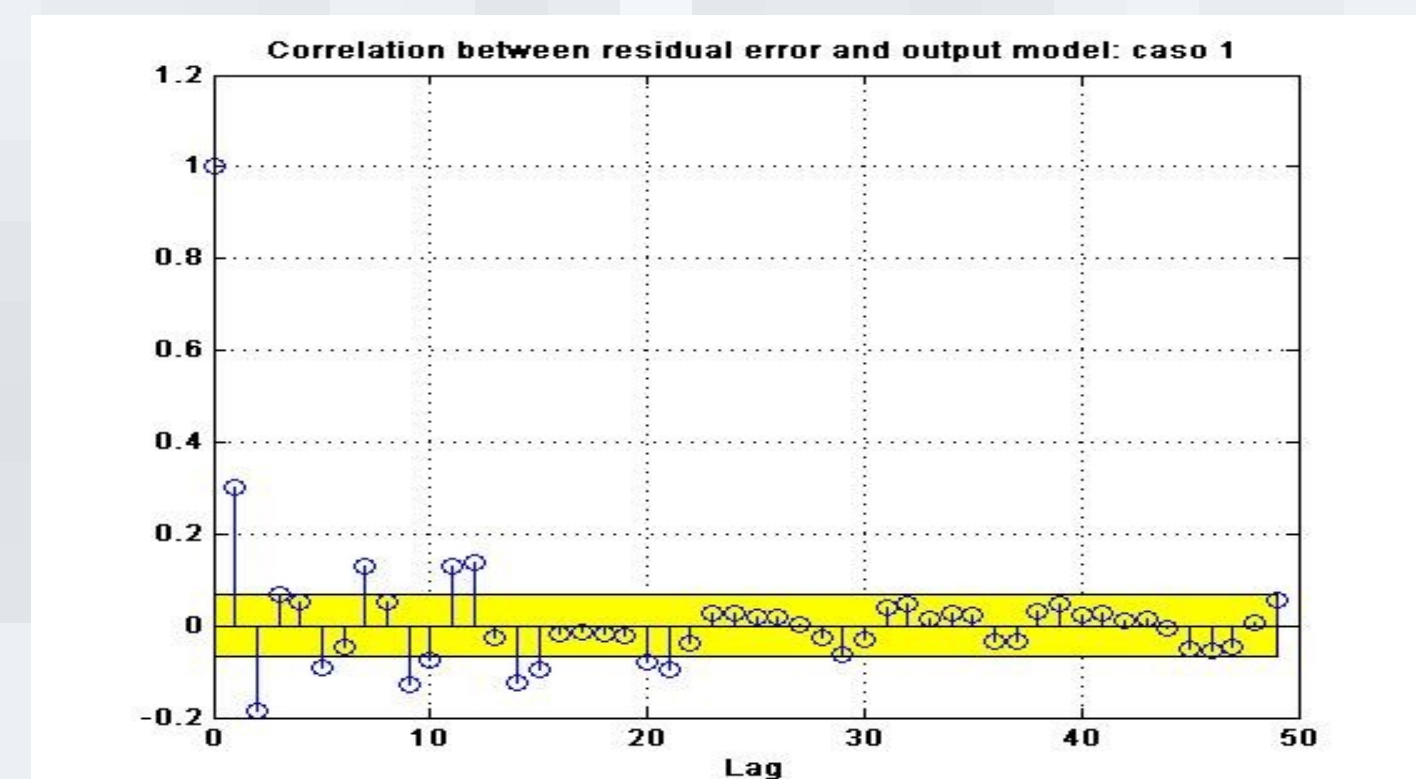


Figura 3 – Correlação entre erros residuais

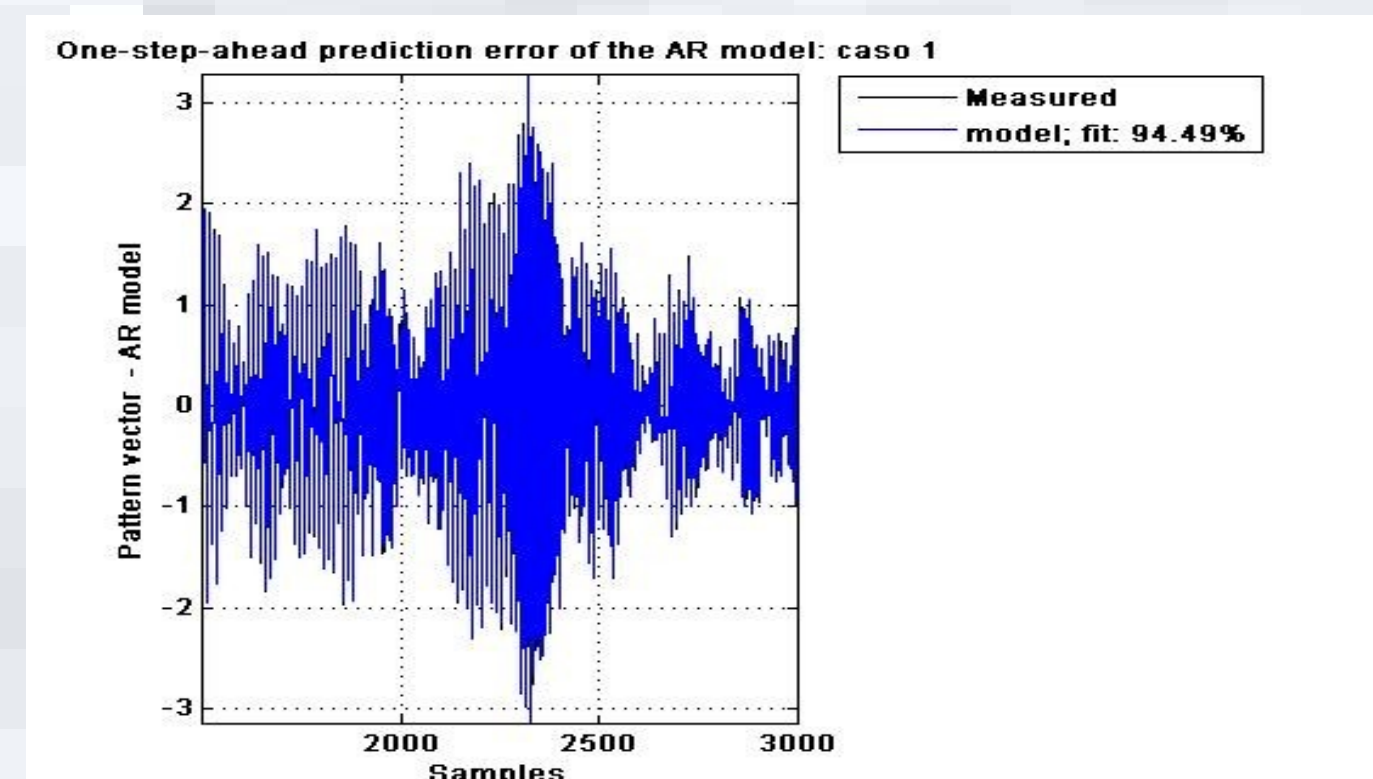


Figura 4 - Modelo AR e comparação do modelo medido e a saída.

Para os casos de 5 a 14 descritos na Tabela 2, são introduzidos danos em um ou mais graus de liberdade. Caso existir um dano estrutural, a função de densidade de probabilidade mudará (ver Figura 5) e o modelo prévio ARX, obtido usando o sinal de referência, não será capaz de reproduzir a série temporal na condição com dano, como observado no caso 12.

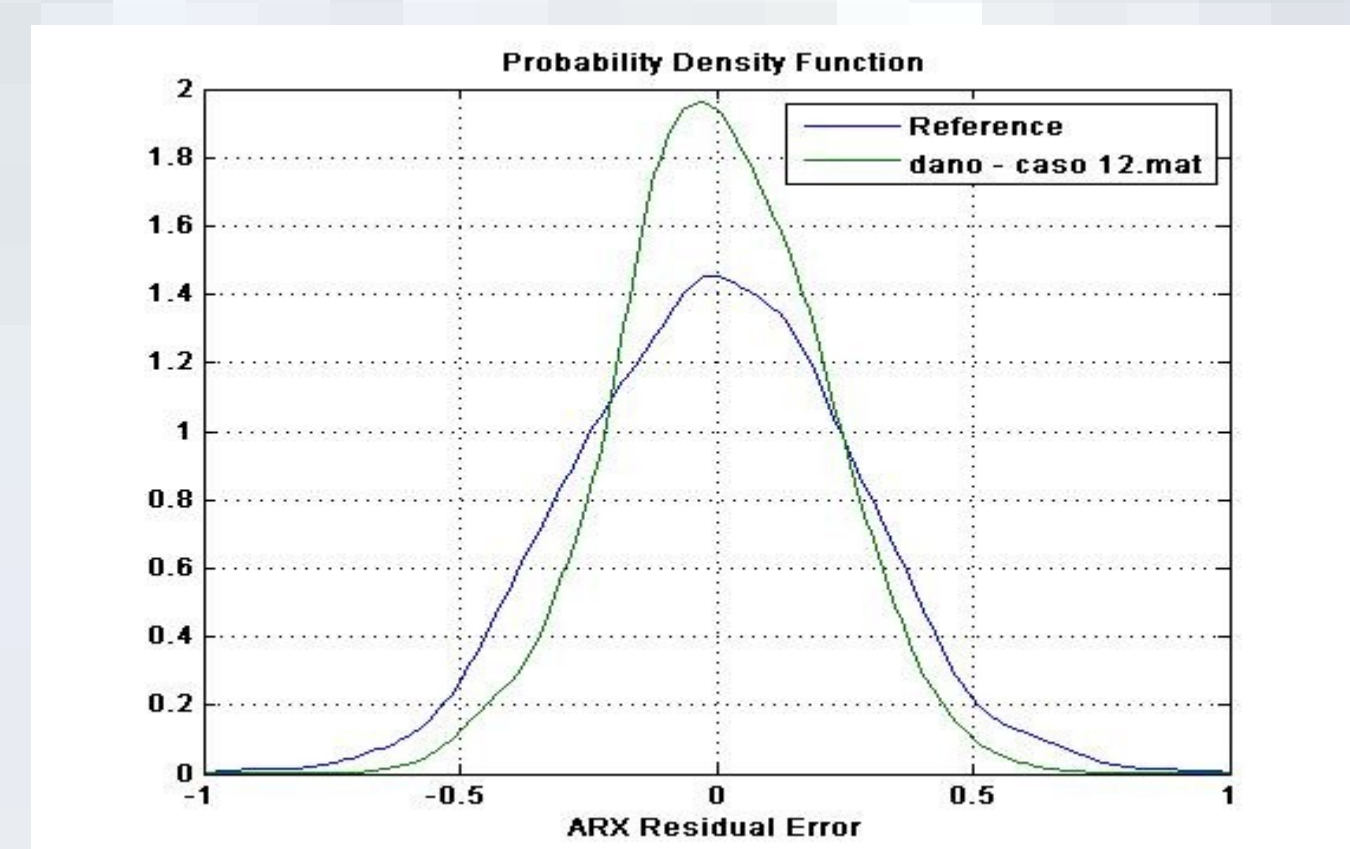


Figura 5 – Função densidade de probabilidade (f.d.p) para o caso 12

Conclusão

À partir dos resultados obtidos, a técnica de monitoramento estrutural baseado em modelos de predição auto-regressivos é de extrema utilidade, tanto pela sua versatilidade quanto pela eficácia.

Referências Bibliográficas

- DA SILVA, Samuel ; DIAS JUNIOR, Milton : Detecção de danos estruturais usando análise de séries temporais e atuadores e sensores piezoeletricos . UNICAMP, 2008.
- H. Sohn and C. R. Farrar. Damage diagnosis using time series analysis of vibration signals. Smart Materials and Structures, 2001.
- M. S. Cho and K. J. Kim. Indirect input identification in multisource environments by principal component analysis. Mechanical Systems and Signal Processing, 1991.