

ALGORITMOS GENÉTICOS APLICADOS NA OTIMIZAÇÃO DE BANDAS DE MONITORAMENTO DE UMA ESTRUTURA ESPACIAL PARA FINS DE SHM

José dos Reis Vieira de Moura Júnior

Faculdade de Engenharia Mecânica (FEMEC), Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Avenida João Naves de Ávila, 2121

mourajr@mourajr.com

Karina Mayumi Tsuruta

Faculdade de Engenharia Mecânica (FEMEC), Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Avenida João Naves de Ávila, 2121

kmtsuruta@mecanica.ufu.br

Valder Steffen Júnior

Faculdade de Engenharia Mecânica (FEMEC), Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Avenida João Naves de Ávila, 2121

vsteffen@mecanica.ufu.br

Daniel J. Inman

Center for Intelligent Material Systems and Structures, Virginia Polytechnic Institute and State University, 310 New Engineering Building, MC 0261, Blacksburg – Virginia 24061 – USA

dinman@vt.edu

Resumo: *O método de monitoramento de integridade estrutural (SHM – Structural Health Monitoring) baseado em impedância tem sido útil em detecção de alguns tipos de falhas, tais como corrosões e perdas de rigidez e massa. Entretanto, ainda existe um problema relativo à região de monitoramento devido a ausência de modelos numéricos. O presente trabalho utiliza a técnica de algoritmos genéticos na otimização da banda de monitoramento de uma estrutura tubular espacial de fibra de carbono. Concluindo, a abordagem utilizando algoritmos genéticos apresenta a vantagem de automação com a desvantagem do tempo de processamento dos casos, nos quais futuras alterações podem ser feitas.*

Palavras-chave: Detecção de falhas, Estruturas espaciais, Técnica baseada em impedância, Algoritmos genéticos

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, dois métodos aplicados a SHM (Structural Health Monitoring – Monitoramento de Integridade Estrutural) têm sido amplamente utilizados para detecção e avaliação de falhas (Farrar et al., 2003). O primeiro é baseado em impedância, o qual as medidas usadas são baseadas em uma métrica do dano obtida pelos sinais de impedância eletro-mecânica, comparando com o sinal da estrutura sem falhas (Bhalla et al., 2000a and 2000b; Liang et al., 1994; Moura Jr and Steffen, 2004a and 2004b; Naidu et al., 2002; Park et al., 1999a, 1999b, 2000a, 2000b, 2001, 2003; Sun et al., 1995). O segundo método é o Método de Ondas de Lamb, o qual um sinal de tensão é aplicado em um sensor enquanto é medido por um outro (Lemistre et al., 1999; Sohn,

2005). Quando uma falha é adicionada, a onda é propagada de uma forma diferente na estrutura, o qual pode ser associado a procedimentos de detecção de falhas (Sohn, 2005).

Sem dúvida, os melhores casos de aplicações das técnicas de SHM são indiscutivelmente no campo das ciências espaciais, já que exorbitantes gastos são feitos nos projetos, enquanto que pequenas falhas podem comprometer todo o sistema. Em casos de falhas reparáveis, em alguns casos existe a possibilidade de manutenção, embora o valor de recuperação muitas vezes torna o procedimento inviável.

Estruturas espaciais, mais especificamente estruturas de satélites, normalmente se diferenciam das estruturas aeronáuticas devido ao meio inerte a que se submetem enquanto estejam em operação. Estas estruturas, além de possuírem peso baixo em relação às estruturas aeronáuticas, geralmente possuem composição estrutural muito diferente. Neste trabalho é criado um procedimento de otimização de banda de frequência de monitoramento baseada em impedância eletromecânica para uma estrutura tubular de satélite de fibra de carbono.

Um grande problema ao se tratar de SHM baseado em impedância é a identificação da melhor faixa de frequência de monitoramento, sendo que esta varia muito devido ao tipo de falha introduzida e a estrutura supervisionada. Park (2003) sugere que a faixa de frequência deva ser obtida por tentativa e erro e em torno dos 30kHz. Um procedimento descrito por Moura Jr and Steffen Jr (2004a) visa a identificação das melhores condições de monitoramento baseado em impedância, levando-se em conta o tipo do sinal (parte real, módulo, etc), largura de banda e início da banda. Entretanto, este procedimento previa uma realização de vários ensaios para o levantamento da superfície de respostas que iria ser otimizada e assim, identificada as melhores condições da identificação das falhas. Este procedimento além de lento, previa experimentos antecipados, uma metamodelagem do sistema que era feita de forma manual, além de que os sinais seriam monitorados somente para as condições ótimas dos tipos de falhas analisados. Se um outro mecanismo de falha fosse apresentado, ou que o mesmo mecanismo apresentasse configurações diferenciadas, a metodologia não apresentava vantagens, e poderia até mesmo, camuflar as falhas atrás de pequenas variações imperceptíveis do sistema.

Fatores que dificultam muito a escolha das condições ótimas para o monitoramento são: falta de modelos físicos consistentes que permitam prever o comportamento de inserção de falhas; o trabalho em faixas de frequências elevadas torna os sinais de monitoramento de cada estrutura facilmente modificada por aspectos de fabricação ou defeitos posteriores, como variações bruscas de temperaturas, etc; possibilidade infinita de formas de danificar estruturalmente um componente, podendo sofrer processos mistos de falha, como corrosão com trincas por solicitação. Peairs (2006) apresenta uma forma bem próxima de modelagem numérica de uma viga através do método de elementos espectrais, tornando possível através do modelo, uma melhor compreensão do sinal de impedância sem falhas. Entretanto, até o momento apenas estruturas bem simples são possíveis de serem modeladas por tal processo, dificultando aplicações em casos reais.

Em vista de tudo acima exposto, a identificação das condições ótimas de monitoramento ainda é um grande desafio para grupos de pesquisa na área de SHM, pois se trata de facilitar a supervisão de estruturas que, mesmo não definidas suas condições ótimas, ainda deverão ser observadas para possíveis falhas, ou seja, é a definição de condições ótimas devem necessariamente ser estudadas.

Assim, aqui não se pretende definir uma forma correta de obtenção das condições ótimas de monitoramento, mas como descrito em Moura Jr and Steffen Jr (2004a) apenas pretende-se estabelecer mais uma forma possível de obtenção. Novamente é importante salientar que uma demonstração formal de sua condição ótima não é possível devido ao processo se basear em metaheurísticas.

2. METODOLOGIA

Primeiramente, ao se trabalhar com estruturas locais e estáticas, como tubulações, ou senão estruturas que permitam que suas informações sejam “descarregadas” como em estruturas aeronáuticas (que monitoram informações em voo e ao pousarem anexam estes dados a bases

extensas de dados em solo), a supervisão dos sinais não precisa ser considerada crítica, pois um grande número de pontos e sinais podem ser obtidos e armazenados (discretização em toda a faixa possível de monitoramento). Desta forma, nestes casos, os sinais podem ser adquiridos a uma resolução de poucos Hz sem que isso se torne problema. Entretanto, em um satélite cujo monitoramento estrutural pode ser de extrema importância, existe o fator complicador que é o de espaço de memória de acúmulo de informações sobre a integridade estrutural no dispositivo residente nele de SHM. Lembrando que o mesmo não poderá ser “descarregado” localmente em solo, a única alternativa é o de envio destes sinais via os canais de comunicação existentes entre eles com as bases em terra. Entretanto, estes canais devem ser considerados o mínimo possível para efeito de envio de sinais de integridade, já que o propósito do satélite é o de fornecer informações à distância, e o acúmulo de sinais a serem transferidos aumentaria o peso do mesmo com mais dispositivos para envios de sinais dedicados a isso, ou senão, aumento do tempo gasto com envio de sinais de integridade pelos canais já disponíveis pelo satélite. Um outro ponto relevante para a redução de pontos e discutido por Peairs (2006) é que ao se obter uma grande quantidade de pontos de amostragem, a independência dos resíduos dos sinais amostrados é reduzida, dificultando a aplicação das teorias de regressão estatística.

Assim, as questões anteriormente levantadas são facilmente esclarecidas definindo que em estruturas espaciais o caso de identificação de condições ótimas de monitoramento é um fator necessário e não opcional, enquanto que não seria possível se pensar em SHM em satélites se não houver o passo anterior de otimização da região de monitoramento.

O desenvolvimento de estruturas espaciais tem sofrido algumas alterações nos últimos anos. Neste contexto, a busca de formas alternativas de acrescentar rigidez, ao mesmo tempo em que se reduz peso tem gerado formas interessantes de estruturas que não seriam viáveis em ambientes não espaciais. Um projeto recente de Sarles *et al* (2006a e 2006b) apresenta um procedimento de cura através do aquecimento por efeito Joule de estruturas de carbono para estruturas espaciais. Assim, fios de carbono (1-2 mm de largura) com partículas de termofixos que são a priori flexíveis são transportados até o local de trabalho (espaço) e colocados em forma de sua utilização para sofrerem o enrijecimento através do aquecimento e as partículas termoplásticas contidas na estrutura do carbono se fundem e tornam a estrutura pronta para uso. As figuras 1a e 1b apresentam, respectivamente, a fibra de carbono e uma possível aplicação deste componente associado a estruturas infláveis espaciais.



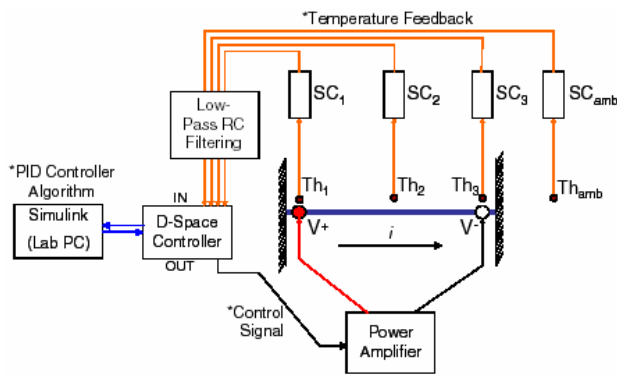
a- fita de carbono



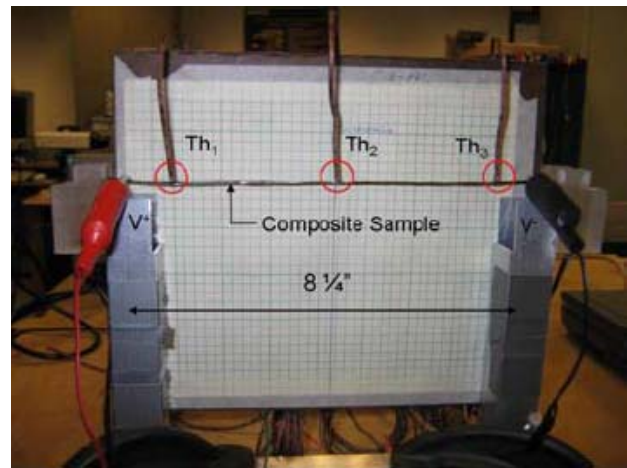
b – componente inflável com fita

Figura 1: Fita de carbono utilizada para enrijecimento de estruturas infláveis.

Sarles *et al* (2006a e 2006b) propõem um mecanismo de controle para o aquecimento no espaço destas fibras de carbono como mostram respectivamente nas figuras 2a e 2b o esquema de controle e o experimento realizado.



a- Esquema de controle



b- Experimento realizado

Figura 2: Esquema de controle do aquecimento para enrijecimento das fibras de carbono (Sarles *et al*, 2006a).

Trabalhos desenvolvidos pela ILC Dover Inc. tem se direcionado a construções de estruturas espaciais que utilizem este mecanismo, como o tubo isograde de Lin *et al* (2002). Esta estrutura ultraleve foi desenvolvida para enrijecer estruturas do tipo Gossamer que são estruturas infláveis que foram desenvolvidas pela NASA e DoD para futuras missões espaciais (Lin *et al*, 2002).

No trabalho de Tarazaga *et al* (2006), assim como neste trabalho, uma estrutura tubular de carbono desenvolvida pela ILC Dover é utilizada. Uma aplicação de uma estrutura similar é apresentada por Horta *et al* (2006). Uma outra aplicação deste tipo de estrutura é apresentada por Tarazaga (2006), como mostra a figura 3 onde as estruturas de treliça são montadas com tubos de fibras de carbono, como os desenvolvidos pela ILC Dover.

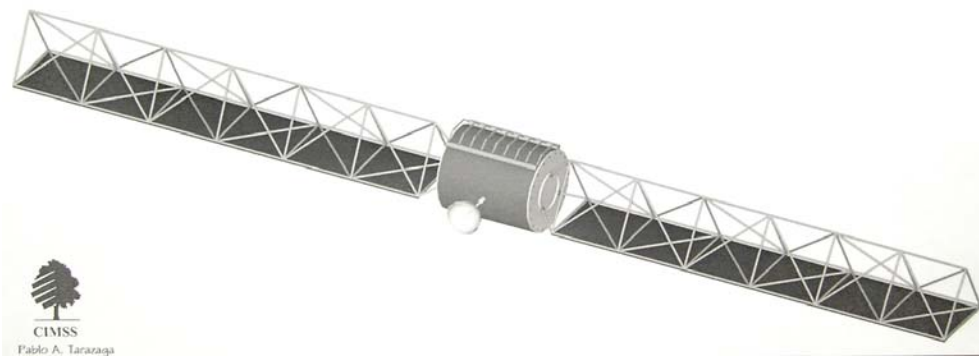


Figura 3: Esquema de painéis solares de um satélite utilizando treliças de fibras de carbono (Tarazaga, 2006).

A estrutura tubular usada neste trabalho é apresentada na figura 4.

Na estrutura são colados em uma extremidade, externamente, e posições opostas, dois MFCs (Micro Fiber Composites) para serem utilizados como sensores/atuadores. A tabela 1 apresenta as características do tubo.



a- Estrutura tubular



b- Pastilha MFC colada na estrutura

Figura 4: Estrutura tubular de fibra de carbono utilizada nos experimentos.

Tabela 1: Propriedades da estrutura tubular.

Comprimento	1,7335m
Massa	360g
Diâmetro Interno	97,87mm
Espessura	0,45mm
Densidade	1501 Kg/m ³

Foram feitos alguns experimentos para os estudos de identificação de região ótima de monitoramento assim como o de metamodelagem de falhas. O processo foi por adição de massa, variando a posição de adição de 10 a 150cm e de 0,036 a 0,108g de massa adicionada. Todos os ensaios foram realizados varrendo da frequência de 10 kHz até 297,990 kHz, com resolução de 10 Hz. Foram coletados quatro repetições para a pastilha MFC 1 e três para a MFC 2. Devido ao tema deste trabalho, apenas a região ótima de monitoramento é apresentada, e assim, considera-se apenas o primeiro caso de falha na otimização (10cm e 0,036g).

O sistema de identificação da condição ótima de monitoramento, que prevê a faixa de frequência adequada ao monitoramento trabalha de acordo com os seguintes passos:

- 1- Capture todos os sinais considerados da estrutura íntegra (sinais de base);
- 2- Quando os sinais de base para o treinamento forem adquiridos, ou seja, quando o sistema tiver feito a aquisição de todos os sinais utilizados para a referência (isto pode ser realizado sob solicitação externa, como um botão no equipamento, ou senão internamente, dado um período de tempo ou número de iterações), calcule o sinal médio da estrutura, descartando sinais que tenham variação muito diferenciada dos outros (aqui é utilizada a média e desvio do sinal completo);
- 3- Com o sistema treinado com o caso padrão de monitoramento, faça aquisições periódicas do sinal completo;
- 4- Compare com média e desvio do sinal de referência;
- 5- Se o sinal estiver dentro do desvio de tolerância, a falha ainda não é considerada;
- 6- Se o sinal estiver fora do desvio tolerável, o caso passa a ser considerado falho, e então, o sinal que foi adquirido por completo é avaliado para obtenção da melhor faixa de frequência para ser monitorado;
- 7- A partir deste momento, o sinal será adquirido e armazenado neste novo intervalo de frequência para fins de previsão de falhas;
- 8- Se o sinal modificar criticamente, ou então, após um determinado ciclo de monitoramentos, uma aquisição de toda a faixa inicial de frequência é refeita e um novo intervalo de frequência pode ser obtido, similar ao que foi feito no passo 6.

Para a realização da extração da melhor faixa de frequência, um método baseado em algoritmos genéticos é utilizado, no qual a função de adaptação é o cálculo da métrica do dano, enquanto as variáveis a serem otimizadas (variáveis de projeto ou genes) são as variáveis i e j que correspondem respectivamente aos índices de início e término do vetor da parte real da impedância medida. Obviamente que, aplicando apenas este procedimento, o maior valor da métrica do dano seria para os valores de i igual a 1 (um) e j igual ao último elemento do vetor, pois se tratando de uma soma, obtém-se uma acumulação de valores. Para evitar isso, duas restrições foram adicionadas: i deve ser menor que j mais 50; e j menos i deve ser maior que 2000. Com estas duas restrições, e considerando que o vetor completo varia de 10KHz a 298KHz, em intervalos de 10 em 10 Hz, o mínimo intervalo que se pode capturar é de 500Hz e o maior é de 20KHz. Neste caso não se considera “saltos” entre elementos de um vetor, ou seja, uma variável do modelo de otimização que poderia representar a resolução de amostragem, ou intervalos de pontos diferentes de 10 Hz.

A priori, na prática, este procedimento poderia ser utilizado para se trabalhar com diversas bandas de frequência de uma mesma estrutura que possa sofrer diversos tipos conjuntos de falhas incipientes, na qual cada avaliação contribuiria no processo de monitoramento. Entretanto, por se tratar de um estudo introdutório de aplicação da metodologia, apenas uma região é utilizada por vez, considerando apenas uma determinada falha.

3. RESULTADOS

A Figura 5 apresenta os sinais de referência que foram obtidos para a análise contemplando toda a faixa de monitoramento e apenas o primeiro sinal com falha. Percebe-se que para este primeiro caso de falha, uma pequena diferença entre os dois sinais é vista.

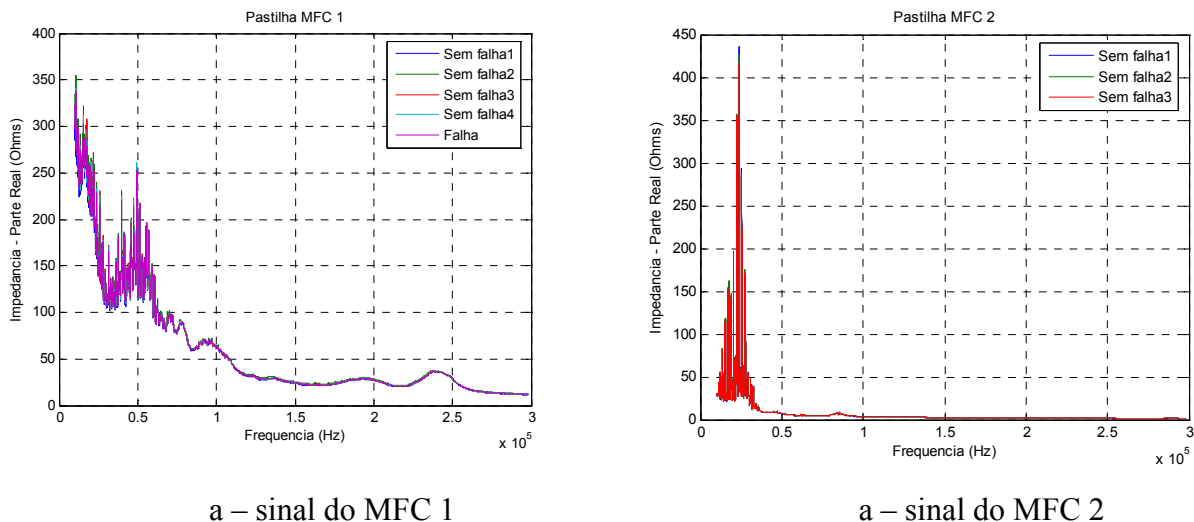
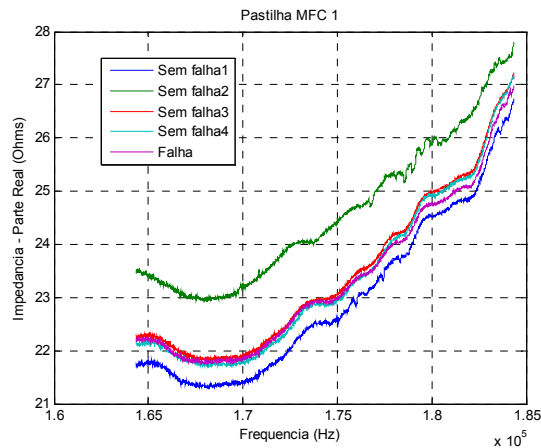
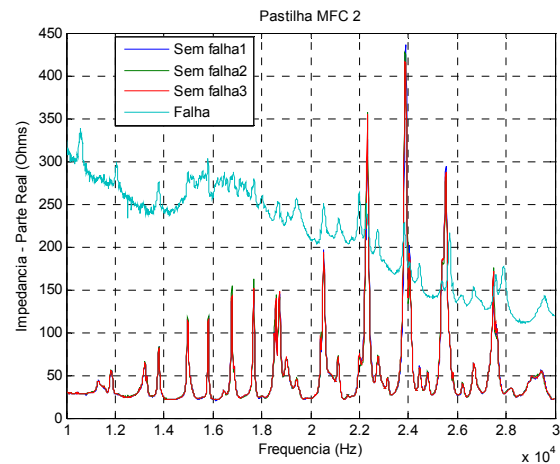


Figura 5: Faixa completa de monitoramento das duas pastilhas MFC.

Após o procedimento de melhor faixa de monitoramento através de algoritmos genéticos, a faixa de melhor identificação para a primeira falha, considerando a pastilha MFC 1, foi de 15437 a 17436, com 2000 pontos. Isto corresponde à faixa de frequência de 164360 Hz a 184350 Hz. O mesmo foi realizado para a pastilha MFC 2, encontrando a melhor região para monitoramento da falha 1 de 1 a 2000, com 2000 pontos. Isto equivale à faixa de 10000 Hz a 29990 Hz. As duas regiões ótimas de monitoramento podem ser observadas nas figuras 6a e 6b. É importante ressaltar que para a avaliação, os sinais das pastilhas MFCs foram normalizados, mas para apresentação eles foram apresentados sem a normalização, mas como eles foram coletados.



a – sinal do MFC 1



a – sinal do MFC 2

Figura 6: Janelas das regiões ótimas de monitoramento.

Após a identificação da região ótima de monitoramento, um meta-modelo baseado em superfícies de resposta foi feito para cada uma das pastilhas MFC para caracterização da falha por massa adicionada.

4. CONCLUSÕES

Com este trabalho foi apresentado um procedimento para identificação de bandas de monitoramento de uma estrutura espacial por algoritmos genéticos. O procedimento apesar de consumir consideráveis recursos computacionais (cerca de 4 a 5 horas de execução para cada otimização), apresenta potenciais capacidades de automação do processo de monitoramento.

Diferentes metaheurísticas de otimização ainda deverão ser testadas a fim de se verificar uma abordagem que consuma menor tempo de processamento, tornando o processo mais aplicável para fins de monitoramento. Além disso, uma variável que poderá ser adicionada diz respeito ao intervalo entre pontos, variando assim, a resolução do sinal adquirido.

5. AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece ao CNPq pela bolsa de Doutorado. Os autores agradecem especialmente a Pablo Tarazaga, Ben Grisso e Dan Peairs pelos auxílios durante as realizações dos experimentos. Um agradecimento especial se faz à ILC Dover Inc. pelo fornecimento da estrutura para os ensaios realizados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bhalla, S., Naidu, A. S. K., and Soh, C. K., "Influence of Structure– Actuator Interactions and Temperature on Piezoelectric Mechatronic Signatures for NDE," in Proceedings of ISSS-SPIE 2002 International Conference on Smart Materials Structures and Systems, Bangalore, India (paper no ISSS-SA-502), December 12–14, 2002a.
- Bhalla, S., Naidu, A.S.K., Ong, C.W. and Soh, C.K., "Practical Issues in the Implementation of Electromechanical Impedance Technique for NDE", in Proceedings of the SPIE International Symposium on Smart Materials, Nano-, and Micro-Smart Systems, Melbourne, Australia, December 16-18, 2002b.
- Farrar, C., and Damage Prognosis Team from Weapon Response Group, Los Alamos National Laboratory, "An Introduction to Damage Prognosis", Pan American Advanced Study Institute on Damage Prognosis, Florianopolis, SC, Brasil, 2003.

- Horta, L.G., Reaves, M.C., Lew, J-S, “A Procedure for Static and Dynamic Model Update of Finite Element Models: Application to an Inflated/Rigidized Torus”, XXIV IMAC 2006 – St Louis, 2006.
- Lemistre, M., Gouyon, R., Kaczmarek, H. and Balageas, D., “Damage Localization in Composite Plates Using Wavelet Transform Processing on Lamb Wave Signals”, Second International Workshop on Structural Health Monitoring, Stanford, USA, 1999.
- Liang, C., Sun, F.P., and Rogers, C.A., “Coupled Electromechanical Analysis of Adaptive Material Systems – Determination of the Actuator Power Consumption and System Energy Transfer,” *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, Vol. 5, 12–20, 1994.
- Lin, J.K.H, Sapna, G.H., Scarborough, S.E. and Cadogan, D.P., “Inflatable Rigidizable Isogrid Boom Development”, 43rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference, Denver, Colorado, AIAA 2002-1297, 2002.
- Moura Jr, J.R.V. and Steffen Jr, V., “Impedance-Based Health Monitoring: Frequency Band Evaluation”, XXII IMAC, Dearborn, MI, USA, 2004a.
- Moura Jr, J.R.V., “Damage Detection Methods in Aeronautic Structures by Using Meta-Modeling Associated with Impedance Techniques and Smart Structures”, MSc Thesis, Federal University of Uberlandia, Brazil (In Portuguese), 2004b.
- Naidu, A. Bhalla, S., and Soh, C.K., “Incipient Damage Localization with Smart Piezoelectric Transducers using High-Frequency Actuation,” in *Proceedings of SPIE International Symposium on Smart Materials, Nano-, and Micro-Smart Systems*, Melbourne, Australia, December 16–18, 2002.
- Park, G., Kabeya, K. Cudney, H. H., and Inman, D. J., “Impedance- Based Structural Health Monitoring for Temperature Varying Applications,” *JSME International Journal, Series A*, Vol. 42, No. 2, 249–258, 1999a.
- Park, G., Cudney, H., and Inman, D., “Impedance-Based Health Monitoring Technique for Massive Structures and High-Temperature Structures,” in *Smart Structures and Materials 1999: Sensory Phenomena and Measurement Instrumentation for Smart Structures and Materials*, *Proceedings of the SPIE*, Vol. 3670, 461–469, 1999b.
- Park, G., Cudney, H., and Inman, D. J., “Impedance-Based Health Monitoring of Civil Structural Components,” *ASCE Journal of Infrastructure Systems*, Vol. 6, No. 4, 153–160, 2000a.
- Park, G., Cudney, H., and Inman, D.J., “An Integrated Health Monitoring Technique Using Structural Impedance Sensors,” *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, Vol. 11, No. 6, 448–455, 2000b.
- Park, G., Cudney, H., and Inman, D.J., “Feasibility of Using Impedance-Based Damage Assessment for Pipeline Systems,” *Earthquake Engineering and Structural Dynamics Journal*, Vol. 30, No. 10, 1463–1474, 2001.
- Park, G, Sohn, H., Farrar, C.R. and Inman, D.J., “Overview of Piezoelectric Impedance-Based Health Monitoring and Path Forward”, *The Shock and Vibration Digest*, Vol. 35, No. 6, November 2003, pp. 451-463, 2003.
- Peairs, D.M., “High Frequency Modeling and Experimental Analysis for Implementation of Impedance-based Structural Health Monitoring”. PhD Thesis. Virginia Tech, 2006.
- Sarles, S. A., Bullions, T., Mefford, T., Riffle, J., Leo, D., “Carbon Fiber Reinforced Rigidizable Space Structures”, *Materials and Devices for Smart Systems II*, 0888-V02-06, 2006a.
- Sarles, S., Leo, D., Riffle, J., “Improved Composite Rigidization via Temperature-Controlled Resistive Heating”, 47th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference, Newport, RI, May 1-4, 2006b.
- Sohn, H., “Statistical Pattern Recognition Paradigm Applied to Defect Detection in Composite Plates” in *Damage Prognosis – for Aerospace, Civil and Mechanical Systems*, John Wiley & Sons Inc., Hoboken, NJ, USA, 2005.
- Sun, F.P., Chaudhry, Z., Liang, C., and Rogers, C.A., “Truss Structure Integrity Identification Using PZT Sensor–Actuator,” *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, Vol. 6, 134–139, 1995.

Tarazaga, P.A., Inman, D.J., Wilkie, W.K, “Structural Health Monitoring of Space Rigidizable-Inflatable Booms”, XXIV IMAC 2006 – St Louis, 2006.

GENETIC ALGORITHMS APPLIED TO FREQUENCY RANGE OPTIMIZATION OF A SPACIAL STRUCTURE FOR MONITORING PURPOSES

José dos Reis Vieira de Moura Júnior

Faculdade de Engenharia Mecânica (FEMEC), Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Avenida João Naves de Ávila, 2121

mourajr@mourajr.com

Karina Mayumi Tsuruta

Faculdade de Engenharia Mecânica (FEMEC), Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Avenida João Naves de Ávila, 2121

kmtsuruta@mecanica.ufu.br

Valder Steffen Júnior

Faculdade de Engenharia Mecânica (FEMEC), Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Avenida João Naves de Ávila, 2121

vsteffen@mecanica.ufu.br

Daniel J. Inman

Center for Intelligent Material Systems and Structures, Virginia Polytechnic Institute and State University, 310 New Engineering Building, MC 0261, Blacksburg – Virginia 24061 – USA

dinman@vt.edu

Abstract: *The measurement of the signatures of structures based on electro-mechanics impedance has been useful to determine the position of some kinds of damages, as such as corrosion and loss of stiffness or mass. However, the frequency range of the monitoring is still a problem due to absence of numerical models for real structures. This contribution focus on the use of genetic algorithms in the optimization of the frequency range of monitoring of a tubular space structure made of carbon fiber. Concluding, an approach using genetic algorithms shows the advantage of automation, but with the disadvantage of the spent time of processing the cases. Relative to this, future contributions should be done to reduce these troubles.*

Keywords: *Damage detection, Space structures, Impedance-based technique, Genetic algorithms*