MONITORAMENTO E DIAGNÓSTICO DE INTEGRIDADE ESTRUTURAL EM TEMPO REAL

CUNHA, Gilberto Abreu[1]
SCARTON, Mariana Gaioti dos Santos[1]
LIMA, Philipe Maroli[1]
EIRIZ, Douglas Costa[2]

[1] Graduandos do Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Multivix Cachoeiro de Itapemirim-ES – gebecunha@gmail.com; philipemaroli@hotmail.com; mariana_gaioti@outlook.com
[2] Professor orientador: mestre/especialista em Engenharia Mecânica. Docente da Faculdade Multivix Cachoeiro de Itapemirim-ES – engmeceiriz@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

O monitoramento e diagnóstico de integridade estrutural (SHM – Structural Health Monitoring) em tempo real desempenha um papel fundamental na engenharia mecânica, especialmente em estruturas sujeitas a cargas cíclicas e condições adversas, como aeronaves, turbinas eólicas, veículos automotivos e estruturas industriais. O principal objetivo do SHM é assegurar a integridade e confiabilidade dessas estruturas durante sua operação, prevenindo falhas catastróficas por meio da detecção precoce de danos. Para isso, são empregados sistemas de sensores, técnicas avançadas de processamento de dados e modelos computacionais que fornecem informações em tempo real sobre o comportamento e o estado das estruturas monitoradas.

2 METODOLOGIA

A metodologia de monitoramento em tempo real na engenharia mecânica compreende três etapas principais: aquisição de dados, processamento e diagnóstico. Primeiramente, sensores como acelerômetros, sensores de deslocamento, extensômetros, sensores de vibração e sensores de emissão acústica são estrategicamente posicionados na estrutura a ser monitorada. Esses sensores capturam variáveis como vibração, tensão, deformação e propagação de trincas, enviando dados em tempo real para sistemas centralizados que permitem a análise contínua e precisa das condições estruturais.

Após a coleta, os dados brutos passam por um processamento que utiliza algoritmos matemáticos e técnicas de processamento de sinais. Ferramentas como a transformada de Fourier, a transformada wavelet e a análise modal são aplicadas para identificar padrões e detectar variações fora dos parâmetros normais de operação. Simultaneamente, modelos de elementos finitos (FEM) são empregados para simular o comportamento estrutural em condições normais, facilitando a comparação entre o modelo teórico e os dados experimentais.

Na etapa final de diagnóstico, os dados processados são interpretados para avaliar o estado da estrutura. Algoritmos de aprendizado de máquina, como redes neurais e algoritmos de detecção de anomalias, são utilizados para identificar falhas iminentes e avaliar sua gravidade, permitindo a emissão de alertas preventivos para inspeção ou manutenção.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na engenharia mecânica, o desenvolvimento de sistemas de SHM em tempo real é direcionado principalmente para aplicações em equipamentos dinâmicos, como motores, turbinas e caixas de engrenagem. A escolha e o posicionamento adequado dos sensores são fundamentais para assegurar a detecção de falhas mecânicas que possam comprometer o desempenho estrutural. Por exemplo, em motores aeronáuticos, sensores de vibração e temperatura são utilizados para identificar desalinhamentos ou desgastes excessivos de componentes móveis.

Com o avanço da Internet das Coisas (IoT) e de sistemas de comunicação sem fio, os dados coletados podem ser transmitidos para servidores em nuvem, onde algoritmos robustos processam as informações em tempo real. Além disso, técnicas de modelagem preditiva são integradas ao sistema, permitindo prever o tempo de vida útil restante de componentes e programar manutenções preventivas de maneira mais eficiente. A integração de modelos físicos com algoritmos de aprendizado de máquina, prática conhecida como "gêmeos digitais", tem se tornado comum no SHM, especialmente em estruturas mecânicas complexas.

Os sistemas de SHM aplicados à engenharia mecânica têm mostrado resultados positivos em várias áreas, principalmente na detecção precoce de falhas em componentes sujeitos a cargas dinâmicas. Em turbinas a gás, por exemplo, sensores de vibração e temperatura permitem identificar desalinhamentos e

desbalanceamentos que poderiam levar a falhas catastróficas. A análise em tempo real desses dados possibilita o agendamento proativo de manutenções corretivas, prevenindo paradas inesperadas.

Outro exemplo é o uso de SHM em pontes e outras grandes estruturas mecânicas. Estudos recentes demonstram que sensores de fibra ótica instalados em pontos estratégicos conseguem detectar alterações milimétricas na deformação de componentes críticos, fornecendo um panorama preciso das condições estruturais e permitindo intervenções antes que danos maiores ocorram.

Ainda assim, desafios permanecem, principalmente relacionados à confiabilidade dos sistemas de monitoramento em ambientes extremos, onde variações de temperatura e interferências eletromagnéticas podem afetar o desempenho dos sensores. Além disso, o volume de dados gerado pelos sistemas de SHM exige alta capacidade de processamento, demandando melhorias contínuas nas plataformas de análise.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O monitoramento de integridade estrutural em tempo real tem se consolidado como uma ferramenta valiosa para a engenharia mecânica, possibilitando a detecção precoce de falhas em sistemas dinâmicos e estruturas críticas. A utilização de sensores avançados, técnicas sofisticadas de processamento de sinais e algoritmos de aprendizado de máquina permite diagnósticos mais precisos e respostas corretivas ágeis. No entanto, ainda existem desafios a serem superados, como o processamento eficiente de grandes volumes de dados e a durabilidade dos sensores em ambientes adversos. Com o avanço dessas tecnologias, espera-se que o SHM continue a elevar os padrões de confiabilidade e segurança nas estruturas mecânicas.

5 REFERÊNCIAS

HBK. **Solução Modular para um Monitoramento Estrutural Eficiente**. Disponível em: https://www.hbm.com. Acesso em: 08 de setembro de 2024.

KOT. **Monitoramento da Integridade Estrutural**. Disponível em: https://kotengenharia.com.br/sistemas/monitoramento-da-integridade-estrutural-2/. Acesso em: 08 de setembro de 2024.

MAIO, Carlos Eduardo Bassi. **Técnicas para Monitoramento de Integridade Estrutural usando Sensor e Atuadores Piezoelétricos**. 2011. Escola de Engenharia

de São Carlos da Universidade de São Paulo – São Paulo, 2011.

OLIVEIRA, Mário Anderson. **Monitoramento de Integridade Estrutural Baseada em Sensores Piezoelétricos e Análise de Sinais no Domínio do Tempo**. 2013. Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho” – São Paulo, 2013.

REVISTA UNIVERSO. **Sensores Inteligentes e suas Aplicações no Cotidiano**. Disponível em: http://revista.universo.edu.br/index.php. Acesso em: 07 de setembro de 2024.

SENSORENG**. Utilização de Sensores Inteligentes no Monitoramento de Obras em Tempo Real**. Disponível em: https://sensoreng.com.br/utilizacao-de-sensores-inteligentes-no-monitoramento-de-obras-em-tempo-real/. Acesso em: 07 de setembro de 2024.