

Monitorização em tempo real da vibração de estruturas. Um exemplo de um sistema estocástico contínuo-discreto

Paula Milheiro de Oliveira

Faculdade de Engenharia e CMUP, Universidade do Porto, Rua do Dr. Roberto Frias, Porto, Portugal, poliv@fe.up.pt

Palavras-chave: equações diferenciais estocásticas, processos estocásticos, séries temporais, aplicações em engenharia

Abstract: O problema de monitorização de estruturas de engenharia civil envolve um modelo estocástico do tipo contínuo-discreto, no sentido em que a dinâmica da estrutura é dada por uma equação diferencial estocástica e em que alguns aspectos dessa dinâmica são observados através de sensores em instantes discretos. Os problemas que surgem são de estimação de parâmetros da equação, de análise do próprio ajuste do modelo, e de teste de ruptura de modelo. Procede-se a uma compilação das principais ideias nesta área e dos principais eixos de investigação e problemas em aberto, em termos das suas componentes probabilísticas e estatísticas.

Introdução

A dinâmica da grande maioria das estruturas de engenharia é afectada por factores ambientais ou operacionais, ambos revelando componentes aleatórias que levam a que estes efeitos sejam classificados como estocásticos. A dinâmica de uma estrutura construída ou em fase de concepção pode ser descrita por

uma equação diferencial estocástica, eventualmente vectorial, com elevada dimensão. A sua monitorização, no dia-a-dia, face às acções estocásticas a que está sujeita, é um problema que se coloca aos engenheiros que têm a responsabilidade da sua concepção ou da sua manutenção em funcionamento. Pode tratar-se de uma questão de segurança ou simplesmente de conforto. A variedade de situações é grande. Os métodos de monitorização baseiam-se em equipamentos de recolha de informação, uma panóplia mais ou menos diversificada de sensores colocados em posições estratégicas da estrutura. Eles são os receptores de dados que serão tratados por métodos estatísticos. Estamos portanto perante um sistema estocástico em tempo contínuo que é observado parcialmente e em tempo discreto.

O problema de monitorização, do ponto de vista matemático, é essencialmente um problema de estimação de parâmetros numa situação de dinâmica, isto é, entramos no campo da inferência para processos estocásticos. Mas a monitorização não se fica só pela estimação dos parâmetros e necessita também de tratar essencialmente problemas de ruptura de modelos, questionando sobre a passagem de um modelo estocástico previamente estabelecido para um outro probabilisticamente diferente do primeiro. Temos portanto situações de teste de hipóteses que também é necessário resolver e, nalguns casos, temos problemas de ajuste de modelos.

É elevada a variedade de métodos que podem ser encontrados na literatura, baseados muitas vezes em pontos de vista diferentes de como tratar o problema partindo das equações iniciais.

Não se pretende propriamente mostrar algo de novo em termos de resultados mas sim fazer realçar como diferentes perspectivas

levaram a diferentes abordagens, a métodos com mais ou menos sucesso, a dificuldades em integrar algumas particularidades específicas de alguns casos de estudo.

Apresentam-se as principais direcções em que os métodos avançam, em termos da sua componente probabilística e estatística, e dos impasses que é preciso arranjar forma de ultrapassar.

Formulações do modelo e do problema de monitorização

Em termos de modelo podemos partir de uma equação diferencial estocástica vectorial para o movimento da estrutura, com a dimensão ditada pela análise da estrutura realizada com base na teoria física subjacente. Uma transformada de parte deste vector estocástico é observada ao longo do tempo, em instantes discretos.

Com base nestas observações pretende-se estimar parâmetros da equação diferencial estocástica, submetê-los a testes de hipóteses, ao longo do tempo, ou avaliar o ajuste das equações inicialmente estabelecidas.

Estacionaridade, não-linearidade, existência de correlação, variáveis latentes

A não existência de estacionaridade é apenas um dos problemas que podem afectar estes modelos.

A não-linearidade pode dizer-se que teoricamente estará sempre presente mas, de um modo geral, num grau facilmente negligenciável, mas são conhecidos casos em que isso não acontece.

A existência de correlação nas observações é um ponto comum a praticamente todos os problemas que obriga à opção por métodos de inferência dinâmica e, praticamente sempre, impossibilita o recurso a toda a bateria de métodos baseados em observações i.i.d.

Há ainda que contar com a possibilidade de existirem variáveis latentes que, de alguma forma influenciam o sistema e dificultam a percepção de alterações de comportamento da estrutura ou induzem o engenheiro numa interpretação errada, o que precisamente se pretende evitar.

Trataremos com algum cuidado o caso do efeito "temperatura ambiente e exposição solar", como um meio de percebermos melhor como um problema de monitorização como este se pode tornar complexo e criar grandes desafios em termos probabilísticos e estatísticos.

Bibliografia

- [1] Basseville, M., Bourquin, F., Mevel, L., Nasser, H., Treysède, F. (2010). Handling the Temperature Effect in Vibration Monitoring: Two Subspace-Based Analytical Approaches. *ASCE Journal of Engineering Mechanics*, 2, 367-378.
- [2] Boller, C., Chang, F.K., Fujino, Y., editors (2009). *Encyclopedia of Structural Health Monitoring*. John Wiley Sons.
- [3] Brownjohn, J. (2005). Long-term monitoring of dynamic response of a tall building for performance evaluation and loading characterisation. In *Proceedings of the 1st International Operational Modal Analysis Conference*, 143-154, Copenhagen, Denmark.

- [4] Chase, S.B., Washer, G. (1997). *Nondestructive evaluation for bridge management in the next century*. Public Roads, 61(1).
- [5] Doebling, S.W., Farrar, C.R., Prime, M.B., Shevitz, D.W. (1996). Damage identification and health monitoring of structural and mechanical systems from changes in their vibration characteristics: a literature review. *Report LA-13070-MS, Los Alamos National Laboratory*, Los Alamos, NM.
- [6] Peeters, B., Maeck, J., and De Roeck, G. (2001). Vibration-based damage detection in civil engineering: Excitation sources and temperature effects. *Smart Mater. Struct.*, 10(3), 518-527.
- [7] Peeters, B. (2000). System identification and damage detection in civil engineering. *PhD thesis*, Department of Civil Engineering, K.U. Leuven, Belgium.
- [8] De Roeck, G., Teughels, A., Reynders, E. (2005). Damage identification of civil engineering structures based on operational modal data. In Brinker, R., Møller, N. (eds.): *Proceedings of the 1st International Operational Modal Analysis Conference*, 115-126, Copenhagen, Denmark.