

Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics

Medidas de entropia para caracterização de estol dinâmico

Antonio Elcio Ferreira Júnior¹

Rui Marcos Grombone de Vasconcellos²

Univ Estadual Paulista, Campus de São João da Boa Vista, UNESP, São João da Boa Vista, SP

Flavio D. Marques³

Univ de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, SP

1 Introdução e Metodologia

A separação do escoamento em superfícies aerodinâmicas representa um dos principais problemas não lineares na área da aeroelasticidade. A relação entre a estrutura do dispositivo aeroelástico e os efeitos não lineares podem causar oscilações autossustentadas a elevados ângulos de ataque, resultando no fenômeno do estol dinâmico. Quando o sistema apresenta estol dinâmico, é possível analisá-lo através de algumas ferramentas, como a reconstrução do espaço de estado e transformada de Fourier. Após a análise e a coleta de dados, o comportamento do sistema pode ser caracterizado de maneira mais eficiente a partir do uso de medidas de entropia, determinando o seu nível de complexidade.

O objetivo deste trabalho de pesquisa envolve o uso da entropia para a caracterização de comportamentos aeroelásticos não lineares.

Um dispositivo experimental, composto por um aerofólio NACA 0012, é testado em túnel de vento, sendo exposto ao escoamento à altos ângulos de ataque, resultando em oscilações de estol dinâmico. As séries temporais foram coletadas para diferentes velocidades do escoamento e analisadas por meio da SVD (Singular Value Decomposition), FFT (Fast Fourier Transform) e entropia. Através da reconstrução (Fig.1a), foi observado que os sinais aeroelásticos revelam movimentos oscilatórios em estol dinâmico, inicialmente assimétrico para velocidades baixas, tornando-se simétricos para velocidades de escoamento mais altas [1]. A análise em frequência (Fig.1b) revela alterações na frequência principal e a mudança da presença de harmônicos pares antes da transição, para harmônicos ímpares após a transição. A caracterização do sinal é feita pela Entropia Aproximada (ApEn) [2]. A ApEn resulta na ideia do quão complexo é o sistema, determinando se o mesmo possui ou não características caóticas, através do valor da entropia. O cálculo da ApEn é dado por:

$$ApEn(n, r, y) = \ln\left(\frac{C_n(r)}{C_{n+1}(r)}\right) \quad (1)$$

¹antonioelciof@hotmail.com

²rui.vasconcellos@sjbv.unesp.br

³fmarques@sc.usp.br

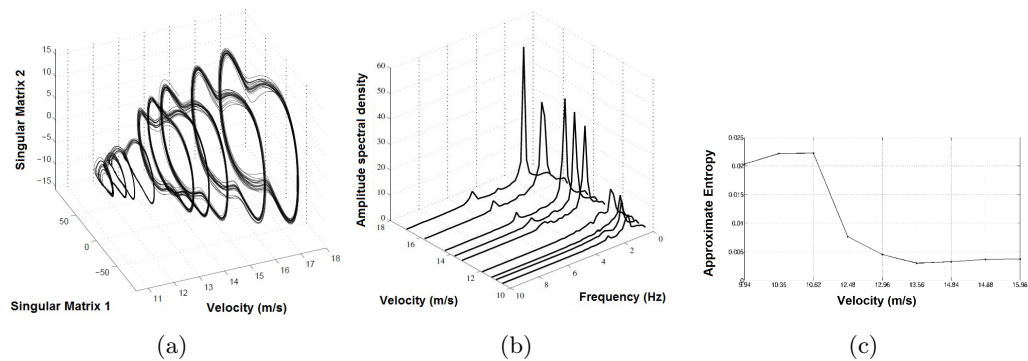


Figura 1: Resultados da reconstrução do espaço de estados, FFT e Entropia.

Onde y é a série analisada, n é o número de pontos ao longo de um trecho da série, e r é o aspecto de similaridade, indicando um critério de tolerância da probabilidade do valor em determinada amplitude da série ser igual em um valor futuro.

2 Conclusão

Após aplicar a Entropia Aproximada (Fig.1c), observa-se a potencialidade da entropia para detecção de transições e caracterização de uma série. Os resultados obtidos mostram que a entropia é maior para velocidades mais baixas, indicando que o sistema possui grande complexidade. Conforme a velocidade aumenta, o aerofólio tende a apresentar oscilar com maior periodicidade, tornando o sistema cada vez mais regular. De fato, para altas velocidades, a entropia se torna constante e tende a zero, indicando a regularidade do sistema aeroelástico.

Agradecimentos

Os autores da presente pesquisa agradecem à FAPESP (Proc. 2016/06334-6) e ao CNPq (Proc. 456958/2014-2).

Referências

- [1] D. A. Pereira, R. M. G. Vasconcellos, Flávio D. Marques, Experimental investigation of an airfoil response under stall-induced pitching oscillations, AIAA SciTech, San Diego California, USA.
- [2] S. M. Pincus, Approximate entropy as a measure of system complexity. Proceedings of the National Academy of Sciences, v.88, n.6, p.2297–2301, (1991).