

Filtragem SVD aplicada na redução de ruído em sinais não-lineares contaminados

Jayro do Nascimento Neto¹

Universidade Estadual de São Paulo (UNESP), São João da Boa Vista, SP

Rui Marcos Grombone de Vasconcellos²

Universidade Estadual de São Paulo (UNESP), São João da Boa Vista, SP

André Alves Ferreira³

Universidade Estadual de São Paulo (UNESP), São João da Boa Vista, SP

As ferramentas de análise não-linear de sinais possibilitam identificar e caracterizar o comportamento de um sistema dinâmico não-linear, onde uma das características mais importantes é a classificação do comportamento entre estabilidade, instabilidade e o tipo de instabilidade para que técnicas de prevenção e/ou controle sejam implementadas. Porém, técnicas de caracterização do comportamento não-linear como expoentes de Lyapunov, podem ser afetadas pela presença de ruído, inevitável em sinais obtidos experimentalmente, podendo causar uma caracterização incorreta. Em experimentos, normalmente obtêm-se séries temporais, que são submetidas a métodos de reconstrução do espaço de estados, possibilitando conhecer a dinâmica do sistema e acessar invariantes que permitam a caracterização do comportamento. Neste trabalho, é realizado um estudo sobre filtragem de sinais não-lineares previamente a caracterização, reduzindo a possibilidade de caracterizar o caos em uma dinâmica ciclo limite. O sinal não-linear simulado, foi extraído do conhecido atrator estranho de Lorenz, gerado por simulações numéricas, com parâmetros caóticos. O sinal foi contaminado com diferentes níveis de ruído, simulando sinais experimentais. Os sinais contaminados foram submetidos a filtragem digital pelo método da decomposição em valores singulares (SVD - do inglês *Singular Value Decomposition*), técnica que reconstrói o espaço de estados e filtra internamente o sinal, que foi submetido a caracterização pelo invariante expoente de Lyapunov. A recuperação qualitativa e quantitativa comprovada junto a resultados já conhecidos na literatura, validarão o método SVD como eficiente filtro digital e do algoritmo utilizado, para calcular o maior expoente de Lyapunov. Os resultados preliminares obtidos revelam que o método SVD é um eficiente filtro digital, sendo indispensável previamente a reconstrução do espaço de estados, resultando em uma caracterização mais precisa pelo expoente de Lyapunov.

Palavras-chave: Expoentes de Lyapunov, Sistemas não-lineares, Caos, Decomposição em valores singulares, Ruído.

Resultados preliminares

A proposta do presente trabalho é simular um sinal experimental não-linear caótico e contaminá-lo com ruído, visando identificar como esta presença afeta a caracterização do sistema. Os efeitos do ruído na caracterização do comportamento do sistema dinâmico não-linear será determinado pelos expoentes de Lyapunov, estimados diretamente dos sinais, utilizando o algoritmo de Wolf et al. O atrator estranho de Lorenz, gerado a partir do sistema com suas conhecidas equações diferenciais ordinárias será criado com os parâmetros caóticos $\sigma = 10$, $\beta = 2,66$ e $\rho = 28$, sendo

¹jayro.neto@unesp.br.

²rui.vasconcellos@unesp.br.

³andre.alves@unesp.br.

a série temporal do sistema contaminada com ruído branco (AWGN - do inglês *Additive White Gaussian Noise*), com relação sinal/ruído SNR=25 dB, simulando sinal experimental.

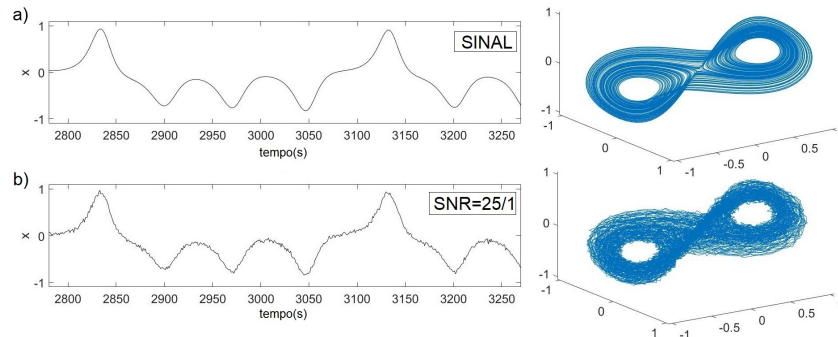


Figura 1: Série temporal de Lorenz normalizada: a) sem ruído e b) sinal com ruído SNR=25/1.

O método da decomposição em valores singulares, aplicado em sinais obtidos numericamente e experimentalmente, possibilita uma filtragem digital eficiente, resgata características qualitativas e quantitativas do sistema, reconstrói o espaço de estados eficientemente, reduzindo consideravelmente os efeitos do ruído, possibilitando uma estimativa mais precisa do expoente de Lyapunov.

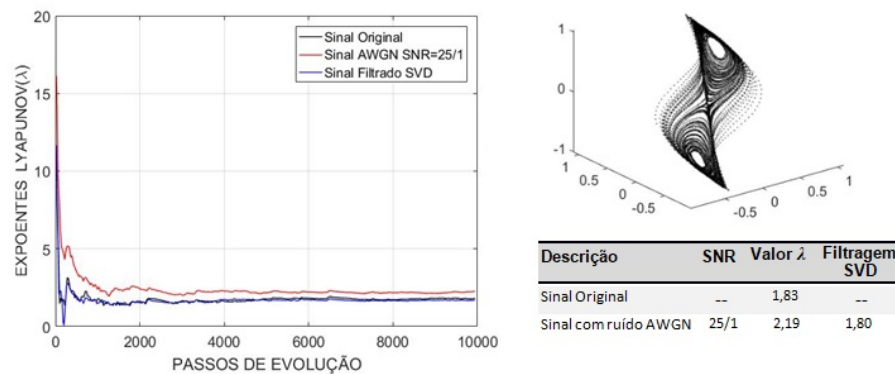


Figura 2: Expoentes de Lyapunov.

Referências

- [1] Lorenz, E. N. *Deterministic Nonperiodic Flow*. *Journal of Atmospheric Science*. Vol. 20. no. 2. 1963. pp. 130 . 141.
- [2] Strogatz, S. H. *Nonlinear Dynamics and Chaos: with Applications to Physics, Biology, Chemistry, and Engineering*. Perseus, 1994.
- [3] Takens, F. Detecting strange attractors in turbulence. In: Rand, D.; Young, L. (Ed.). *Dynamical Systems and Turbulence*, Lecture Notes in Mathematics. New York: Springer-Verlag, v. 898, p.366-381. 1981.
- [4] Wolf, A., J.B. Swift, H.L. Swinney and etc., 1985. Determining Lyapunov Exponents from a Time Series. *Physica*, pp: 285-317.