

Aplicação de *Reservoir Computing* para Filtragem de Sinais Caóticos Imersos em Ruído Branco Gaussiano

André L. O. Duarte¹

EPUSP, São Paulo, SP

Marcio Eisencraft²

EPUSP, São Paulo, SP

A extração de um sinal imerso em ruído é um problema que surge em diversas áreas diferentes como sistemas de comunicação [4], análise de imagens médicas e processamento de áudio [1]. É, desta maneira, um problema de fundamental relevância [1].

Com o passar do tempo, diversos métodos foram desenvolvidos para solucionar tal problema e, recentemente, técnicas de aprendizagem de máquina vêm ganhando atenção por possuírem grande capacidade de adaptação e ao mesmo tempo estarem baseadas em princípios simples [2].

Reservoir computing é uma técnica de treinamento de redes neurais recorrentes que pode ser aplicada em diversas áreas de processamento de sinais, dentre elas a separação [1] e a predição [2] de sinais caóticos.

Sinais caóticos são limitados em amplitude, aperiódicos e apresentam dependência sensível com as condições iniciais [4]. Seu estudo é relevante devido ao grande número de processos naturais que apresentam comportamento caótico [4]. Por exemplo, pesquisas recentes vêm mostrando a possibilidade de implementações práticas de sistemas de comunicação empregando sinais caóticos [4].

Neste trabalho, faz-se uma investigação inicial da aplicação de um *reservoir computer* (RC), para reduzir o ruído branco gaussiano sobre uma componente caótica gerada a partir do mapa de Hénon [2]. Assume-se que amostras do sinal caótico livre de ruído estão disponíveis para treinamento, permanecendo desconhecido o processo caótico que gerou o sinal. O RC foi implementado conforme descrito em [1]. Sua entrada é composta pela componente $x(n)$ caótica gerada pelo mapa de Hénon com condições iniciais aleatórias e parâmetros $a = 1,4$ e $b = 0,3$ [2]. Ela é corrompida por ruído branco gaussiano aditivo.

O período de treinamento, o número de nós do RC, o parâmetro de *leakage* e o raio espectral da matriz de pesos recorrentes influenciam diretamente no desempenho do RC [3]. Para determinar estes valores, foram feitas simulações variando-se um deles e mantendo-se os outros fixos observando-se qual valor de cada parâmetro fornece a maior relação sinal-ruído (SNR - *Signal-to-Noise Ratio*) na saída do RC.

Uma vez otimizados esses parâmetros, foram feitas simulações com 10 realizações para cada valor de SNR de entrada, e calculou-se a SNR na saída do RC. Os principais resultados são apresentados na Figura 1.

Em (a) e (b) pode-se observar o sinal de entrada e o de saída do RC, respectivamente, em comparação com a componente caótica $x(n)$, para uma SNR de entrada de 2,5 dB. Em (c) é apresentado a curva da SNR de saída obtida em dB para diversos valores de SNR de entrada, mostrando o desempenho do sistema.

¹alduarte@lcs.poli.usp.br

²marcioft@usp.br

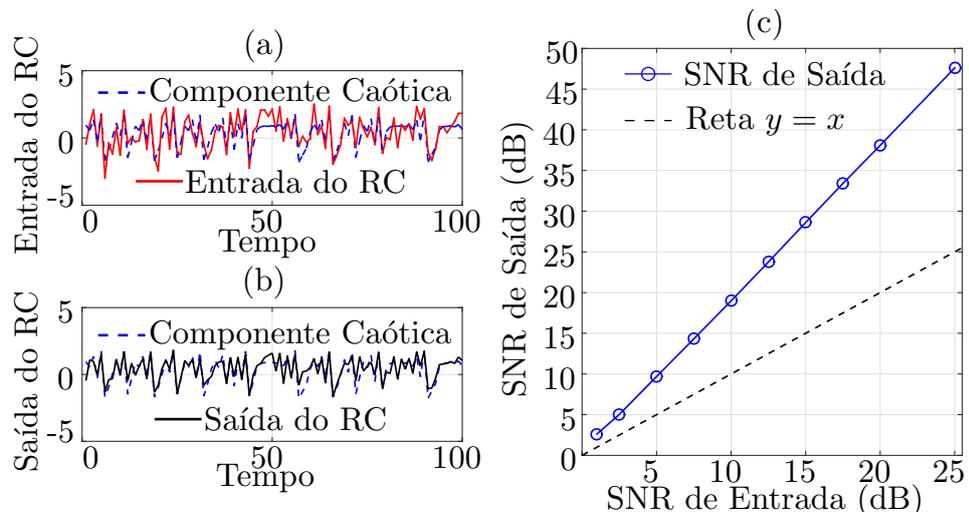


Figura 1: (a): Componente caótica e entrada do RC para uma SNR de entrada de 2,5 dB. (b): Componente caótica e saída fornecida pelo RC. (c): SNR de saída em função da SNR de entrada do RC.

Da Fig. 1 (c) nota-se que os resultados são satisfatórios, pois a SNR na saída foi sempre maior que a SNR na entrada do RC, mesmo quando esta é relativamente baixa. Ainda, quanto maior a SNR na entrada, maior o ganho.

Como sequência deste trabalho, pretende-se analisar o emprego de um RC em cenários mais desafiadores, como o de um sistema de comunicação empregando técnicas de modulação baseada em caos.

Referências

- [1] Krishnagopal, S., Girvan, M., Ott, E., and Hunt, B. R. Separation of chaotic signals by reservoir computing. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, volume 30, issue 2, 023123, 2020. DOI: 10.1063/1.5132766
- [2] Lellep, M., Prexl, J., Linkmann, M., and Eckhardt, B. Using machine learning to predict extreme events in the Hénon map. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, volume 30, issue 1, 013113, 2020. DOI: 10.1063/1.5121844
- [3] Lukoševičius, M. A Practical Guide to Applying Echo State Networks, *Neural Networks: Tricks of the Trade*, Springer Lecture Notes in Computer Science, volume 7700, chapter 26, pages 659-686, 2012. DOI: 10.1007/978-3-642-35289-8_36.
- [4] Oppenheim, A. V., Wornell, G. W., Isabelle, S. H., and Cuomo, K. M. Signal processing in the context of chaotic signals. *Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 1992. DOI: 10.1109/icassp.1992.226472