

Identificação *Online* de Sistemas Não Lineares Utilizando Técnicas de Aprendizado de Máquina

Proposta de Dissertação de Mestrado

Orientador: Rodolfo C. C. Flesch

1. Informações Gerais

- **Área de concentração:** controle de processos.
- **Início:** julho/2018.
- **Previsão de término:** março/2020.

2. Objeto da Pesquisa

2.1. Problemática

A modelagem de sistemas reais possui importância fundamental na engenharia. Tarefas como a análise de processos existentes, projeto de novos processos, projeto de controladores, otimização, simulação, detecção de falhas, entre outras, são baseadas em modelos de processos e diretamente impactadas pela qualidade dos modelos obtidos. Em situações nas quais a obtenção de um modelo fenomenológico é difícil, técnicas de identificação de sistemas são fundamentais [1].

Muitos processos apresentam comportamentos não lineares estáticos e dinâmicos, especialmente quando amplas áreas de operação são consideradas. Devido a isso, a identificação de processos não lineares é amplamente explorada na literatura. Ferramentas de aprendizado de máquina apresentam-se como uma opção interessante para a modelagem experimental de sistemas, por permitirem a identificação de processos nos quais existe pouco ou nenhum conhecimento da física que rege o processo [2].

Quando o sistema a ser identificado apresenta comportamentos que variam no tempo, técnicas de identificação *online* são necessárias. Neste tipo de problema, como as medições são obtidas em blocos com determinada frequência, vários passos são necessários para a obtenção de um modelo, o que resulta em diversos desafios a serem superados [3].

Apesar de uma vasta gama de processos industriais apresentarem comportamentos não lineares e que variam no tempo, técnicas de controle baseadas em modelos não lineares e que considerem as variações do processo no tempo ainda são pouco utilizadas. A falta de técnicas gerais para identificação de sistemas não lineares que apresentem alta fidelidade é apontada na literatura como um dos principais problemas que limitam o uso de técnicas de controle que sejam baseadas nessa classe de modelos [4] [5].

Uma alternativa para a identificação *online* em problemas não lineares, a qual vem sendo explorada na literatura, é a utilização de técnicas de aprendizado de máquina. Os primeiros trabalhos nessa área foram inspirados pelo trabalho precursor de [6], havendo um fortalecimento nesta tendência devido, em especial, aos avanços recentes na área, como o treinamento eficiente de redes neurais artificiais recorrentes [7, 8].

Nesse contexto, diversos trabalhos exploram a utilização de técnicas de aprendizado de máquina, inclusive no âmbito de problemas de identificação *online*. Trabalhos na literatura utilizaram com sucesso modelos de redes neurais dinâmicas, em [9]; redes de estado de eco; nos trabalhos de [10] e [11]; *wavelet neural networks*, no trabalho de [11]; *spiking neural networks*, em [12]; processo gaussiano, em [13]; entre outros.

A aplicação de técnicas de aprendizado de máquina para identificação de sistemas é uma tendência em crescimento. A utilização de tais técnicas em problemas de identificação *online* de sistemas dinâmicos não lineares apresenta diversos desafios, principalmente na obtenção de modelos representativos com baixa demanda computacional. Dessa forma, neste trabalho será estudada a aplicação de técnicas de aprendizado de máquina na identificação *online* de sistemas não lineares, com foco em aplicações da engenharia de controle. O desenvolvimento será tanto teórico quanto experimental.

2.2. Objetivos

Estudar a utilização de algoritmos de aprendizado de máquina no escopo da identificação de sistemas não lineares. Implementar algoritmos para identificação *online* de processos não lineares. Estudar os aspectos de implementação em processos reais e de aplicabilidade em algoritmos de controle. Desenvolver um estudo de caso em um processo não linear real, comparando os resultados da abordagem proposta com técnicas estabelecidas da literatura.

3. Metodologia

O plano de atividades para a execução do projeto está delineado abaixo:

1. revisar literatura de identificação de sistemas não lineares *online* e de técnicas de aprendizado de máquina;

2. propor abordagens para identificação *online* de sistemas não lineares utilizando técnicas de aprendizado de máquina;
3. desenvolver algoritmos baseados técnicas de aprendizado de máquina para identificação de sistemas não lineares;
4. avaliar os resultados da abordagem proposta em exemplos de simulação numérica;
5. desenvolver a identificação de um sistema não linear real (sistema de refrigeração ou sistema de controle de uma bola sobre uma mesa);
6. estudar aspectos de implementação em algoritmos de controle;
7. redigir artigo científico com os resultados alcançados;
8. escrever a dissertação; e
9. defesa.

Referências

- [1] O. Nelles, *Nonlinear System Identification*. London: Springer, 2001.
- [2] R. Isermann and M. Münchhof, *Identification of Dynamic Systems*. Berlin: Springer, 2011.
- [3] E. Lughofer, *Online System Identification and Prediction*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011, pp. 295–323.
- [4] E. F. Camacho and C. Bordons, *Model Predictive Control*. London: Springer Verlag, 2007.
- [5] M. G. Forbes, R. S. Patwardhan, H. Hamadah, and R. B. Gopaluni, “Model predictive control in industry: Challenges and opportunities,” in *9th IFAC Symposium on Advanced Control of Chemical Processes ADCHEM 2015*, vol. 48, no. 8, 2015, pp. 531–538, 9th IFAC Symposium on Advanced Control of Chemical Processes ADCHEM 2015.
- [6] K. S. Narendra and K. Parthasarathy, “Identification and control of dynamical systems using neural networks,” *Trans. Neur. Netw.*, vol. 1, no. 1, pp. 4–27, Mar 1990.
- [7] H. Jaeger and H. Haas, “Harnessing nonlinearity: Predicting chaotic systems and saving energy in wireless communication,” *Science*, vol. 304, no. 5667, pp. 78–80, 2004.

- [8] J. Steil, “Backpropagation-decorrelation: online recurrent learning with $o(n)$ complexity,” in *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks*, vol. 1. Budapest: IEEE, July 2004, pp. 843–848.
- [9] Z.-J. Fu, W.-F. Xie, and W.-D. Luo, “Robust on-line nonlinear systems identification using multilayer dynamic neural networks with two-time scales,” *Neurocomputing*, vol. 113, pp. 16 – 26, 2013.
- [10] J. Park, D. Cho, S. Kim, Y. B. Kim, P. Y. Kim, and H. J. Kim, “Utilizing online learning based on echo-state networks for the control of a hydraulic excavator,” *Mechatronics*, vol. 24, no. 8, pp. 986 – 1000, 2014.
- [11] H. Khodabandehlou and M. S. Fadali, “Echo state versus wavelet neural networks: Comparison and application to nonlinear system identification,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 50, no. 1, pp. 2800 – 2805, 2017, 20th IFAC World Congress.
- [12] J. Pérez, J. A. Cabrera, J. J. Castillo, and J. M. Velasco, “Bio-inspired spiking neural network for nonlinear systems control,” *Neural Networks*, vol. 104, pp. 15 – 25, 2018.
- [13] H. Bijl, T. B. Schön, J.-W. van Wingerden, and M. Verhaegen, “System identification through online sparse gaussian process regression with input noise,” *IFAC Journal of Systems and Control*, vol. 2, pp. 1 – 11, 2017.
- [14] B. B. Schwedersky, “Avaliação experimental de redes neurais artificiais recorrentes para identificação de sistemas dinâmicos: um estudo de caso,” Dissertação (Mestrado em Engenharia de Automação e Sistemas) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Automação e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.
- [15] H. S. Dangui, R. C. C. Flesch, and B. B. Schwedersky, “Avaliação experimental de técnicas de controle preditivo em bancada de testes de compressores herméticos para refrigeração,” in *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AUTOMAÇÃO INTELIGENTE*, 2017, Porto Alegre. Anais do SBAI 2017. Campinas: SBA, 2017.