

1. Identificação da Proposta

Título: Aplicação de técnicas de controle não linear inteligente e estudo da estatística na sincronização de circuitos caóticos

Instituição Executora do Projeto: UACSA/UFRPE – Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Cabo de Santo Agostinho, PE.

Orientador: Prof. Weliton Soares Martins (CPF: 055.580.144-66).

Coorientador: Prof. Marcos Cesar Santos Oriá (CPF: 166.059.774-91).

2. Introdução

Os diversos setores da indústria necessitam cada vez mais de sistemas inteligentes capazes de controlar os diversos processos envolvidos na produção, que são cada vez mais complexos envolvendo um grande número de variáveis e parâmetros. Muitos desses processos envolvem sistemas que apresentam um comportamento não linear, sendo sujeitos a perturbações aleatórias que necessitam ser corrigidas. O projeto de controladores capazes de lidar com tais sistemas, vem atraindo a atenção do ponto de vista científico (no estudo e desenvolvimento de novas técnicas de controle inteligente) como do ponto de vista prático, aplicando essas novas técnicas nos diversos setores da indústria. Porém, o estudo desses processos não lineares, em geral, não podem ser realizados diretamente na planta devido a fatores principalmente relacionados a demanda de produção, como também são sistemas que requerem um alto custo e complexidade para sua implementação em laboratórios. Uma alternativa a esse problema é o uso de circuitos eletrônicos que podem ser utilizados como uma plataforma experimental para "simular" o comportamento desses diversos processos, permitindo estudar experimentalmente sistemas não lineares, através da implementação de circuitos com comportamento equivalente, permitindo alterar parâmetros de forma simples, como reduzindo a complexidade da implementação real desses sistemas. Dessa forma, podemos estudar e aplicar estratégias de controle não linear em um sistema real de difícil implementação experimental, através de circuitos eletrônicos governados pelo mesmo conjunto de equações diferenciais.

Dentre os principais sistemas de controladores não lineares podemos destacar o controle por modos deslizantes (sliding mode control - SMC) que vêm se mostrando como uma das técnicas de controle não linear mais populares [1-3]. A técnica de controle por modos deslizantes fornece uma abordagem sistemática para problemas nos quais é necessário manter estabilidade e performance na presença de incertezas. Ela é indicada para problemas nos quais incertezas paramétricas, dinâmicas não modeladas e perturbações externas estão presentes no sistema [4].

Junto às estratégias de controle não linear, técnicas de inteligência artificial são muitas vezes utilizadas para aumentar a robustez dos sistemas. A combinação de controladores por modos deslizantes com técnicas de computação flexível (ou soft computing (SC)) que representa uma das principais tecnologias dos sistemas inteligentes do futuro, a qual tem sido pesquisada e aplicada na solução de vários problemas práticos, sendo uma poderosa ferramenta para lidar com sistemas não lineares altamente incertos. As tecnologias de SC incluem redes neurais, lógica fuzzy e raciocínio probabilístico, que são técnicas que se aproximam da inteligência humana e dos mecanismos de otimização inteligentes observados na natureza [5]. A difusão de tecnologias SC em arquiteturas de controladores por modos deslizantes vêm se destacando com bons resultados para diversas aplicações, e apresenta um elevado potencial para o desenvolvimento de novas pesquisas na área de controle de sistemas não lineares e incertos [6].

Nesse projeto, será proposta uma estrutura para o controle inteligente de sistemas não lineares e incertos, baseado nas definições mais comuns da inteligência humana. O controlador inteligente deve, portanto, ser capaz de: fazer previsões sobre o comportamento dinâmico esperado do sistema; adaptar-se às mudanças da planta e do meio; aprender a cada iteração do sistema com o ambiente; ser robusto para modelar incertezas e perturbações externas. Para atender a esses quatro requisitos, um sistema de inferência fuzzy adaptativo será incorporado dentro da camada limite da superfície de deslizamento de um controlador por modos deslizantes suavizados. Por meio de uma análise de estabilidade, a partir da teoria de estabilidade de Lyapunov, são fornecidas provas rigorosas para as propriedades de convergência das respostas dos sistemas.

A abordagem proposta será aplicada no controle inteligente de circuitos eletrônicos que simulem diversos tipos de sistemas complexos com diferentes tipos de não lineares, bem como no controle de vibração torcional de uma planta de perfuração de poços de petróleo. Além disso, as estratégias de controles não lineares inteligentes serão aplicadas na sincronização de circuitos caóticos como também será realizado estudo da estatística do acoplamento desses circuitos caóticos, com intuito de desenvolver ferramentas que permitam analisar a dinâmica desses sistemas, preocupando-se principalmente na previsão e controle de eventos que extremos que apresentam uma estatística não normal. Resultados numéricos e experimentais

serão realizados para demonstrar a eficiência da abordagem proposta. Dessa forma, a técnica de controle proposta no presente projeto será de fundamental importância, pois irá permitir que mesmo que os sistemas apresentem modelos de abordagem analítica complexa, será possível controlá-los, até mesmo com modelos mais simplificados, dada a robustez dos controladores propostos com sistemas de inferência fuzzy adaptativos para compensação de incertezas, não linearidades e perturbações externas. Logo, essa abordagem tem como vantagem não somente a obtenção de uma lei de controle mais simples, como também permite que a robustez e a inteligência dos controladores projetados seja evidenciada que extremos que apresentam uma estatística não normal.

3. Objetivos

3.1 Geral

- Desenvolver estudos sobre técnicas de controle não linear com compensação fuzzy para serem aplicados a sistemas dinâmicos não lineares e utilizar circuitos eletrônicos como uma ferramenta para simular experimentalmente o comportamento de sistemas não lineares reais.

3.2 Específicos

1. Modelar matematicamente sistemas dinâmicos não lineares com importantes aplicações na engenharia, como sistemas de perfuração de poços de petróleo;
2. Utilizar circuitos eletrônicos como uma plataforma para simular a resposta desses sistemas não lineares;
3. Realizar simulações numéricas dos sistemas não lineares modelados e relacionar as suas respostas em malha aberta com suas respectivas não linearidades;
4. Aplicar as leis de controle propostas na sincronização de circuitos caóticos e na planta de perfuração de poços de petróleo.
5. Avaliar a estabilidade dos sistemas de controle apresentados através de análises matemáticas, simulações numéricas e experimentos.
6. Estudar o comportamento de sistemas caótico, utilizando as diferentes estratégias de controle não linear e estudar a estatística da sincronização desses circuitos.

4. Metodologia

Este projeto de pesquisa será desenvolvido seguindo os seguintes procedimentos: pesquisa e análise dos trabalhos bibliográficos da área; identificação de modelos de sistemas de perfuração de poços de petróleo, simulação de sistemas não lineares utilizando circuitos eletrônicos; análise dos problemas e propostas de solução utilizando técnicas de controle capaz de lidar com as particularidades encontradas em cada um deles; análise matemática da estabilidade dos sistemas de controle propostos; realização de simulações numéricas para avaliar as performances dos controladores utilizados; implementação da planta de perfuração de poços de petróleo; desenvolvimento do sistema de aquisição dados e controle utilizando placas na National Instruments, bem como sistemas mais baratos como Arduino; realização de testes experimentais; documentação, elaboração de códigos de simulação, relatórios e publicação de artigos.

Desta forma, ao longo de todo o projeto, serão realizadas as seguintes etapas:

1. Revisão bibliográfica: visa realizar uma avaliação do estado da arte que venha permitir a definição dos sistemas de perfuração de poços de petróleo e estudo da modelagem de sistemas utilizando circuitos eletrônicos que apresentam comportamento caótico, bem como a revisão das principais técnicas de controle já utilizados para controlar esses sistemas.
2. Simulações: visa avaliar quantitativa e qualitativamente os trabalhos da revisão bibliográfica, além de fazer um levantamento das principais peculiaridades apresentadas pelos sistemas avaliados. As simulações serão conduzidas a partir dos modelos dinâmicos definidos na revisão bibliográfica.
3. Implementação de circuitos que apresentam comportamento caótico e aplicação das técnicas de controle inteligente na sincronização desses circuitos. Além disso, será implementada uma planta de perfuração de poços de petróleo: nessa etapa será desenvolvido todo o sistema experimental, bem como o sistema de aquisição e controle.
4. Serão desenvolvidos estudos experimentais para a validação das técnicas de controle apresentadas para os sistemas de perfuração de poços de petróleo, bem como o controle de circuitos eletrônicos que simulam o comportamento de sistemas não lineares.

A seguir detalhamos os requisitos para implementação dos circuitos eletrônicos e implementação de uma planta de perfuração de poços de petróleo. Inicialmente o estudante atuará na montagem de um circuito eletrônico semelhante ao circuito de Chua (um dos circuitos eletrônicos mais simples que exibe

comportamento caótico) usado para estudar e compreender o comportamento de sistemas caóticos. Basicamente o circuito será composto por: dois capacitores, um indutor e um resistor negativo, todos elementos conectados em paralelo. Deverá também ser introduzido no circuito um elemento dissipativo (resistor) e um elemento não linear (par de diodos invertido) essencial para obter um comportamento caótico. O estudante atuará na caracterização do circuito, sendo então responsável pelo desenvolvimento de um sistema de aquisição e tratamento de dados. Para desenvolvimento do sistema de aquisição será usada uma placa da National Instruments programada usando o LabVIEW. Os códigos desenvolvidos permitirão analisar a estatística do sistema, obtendo o histograma das tensões em vários elementos do circuito, como também calcular a função de auto-correlação e correção das tensões em vários elementos do circuito. Também deverá permitir salvar os dados, controlando a taxa de aquisição e ser capaz de realizar o longo tempo de aquisição dos sinais. Os resultados obtidos através da implementação do circuito eletrônico serão então comparados com a solução numérica, implementada pelo estudante, das equações que governam o sistema. Após o estudo e caracterização desse primeiro circuito, o estudante deverá montar três circuitos com as mesmas características. Nessa etapa do projeto estudaremos o acoplamento desses circuitos caóticos aplicando-se as técnicas de controle não linear inteligentes, com o objetivo de analisar a sua sincronização. Serão exploradas diferentes formas de acoplamento (bi-direcional, unidirecional, etc) usados para estudar o sincronismo, como também estudar como o acoplamento de vários circuitos afeta o comportamento não linear do sistema.

Já para estudar o sistema de perfuração de poços de petróleo será implementada uma banca experimental de testes de aproximadamente 3 m de comprimento será desenvolvida. A bancada será composta por dois motores elétricos, um para simular o sistema de acionamento da coluna e o outro para simular a força de atrito da formação na broca, um eixo longo e bastante flexível, para simular a coluna de perfuração, uma placa de aquisição de dados e sensores para leitura dos sinais. A bancada de testes é proposta para estudar apenas a dinâmica rotacional e torcional do sistema, dessa forma o motor que fornece a potência ao eixo e o motor que simulará a carga de atrito serão montados em mancais para que a bancada possa ser utilizada na posição horizontal, facilitando a operação. Um eixo de aço de aproximadamente 2,5 m de comprimento e 3 mm de diâmetro representará a coluna. Essas dimensões tornarão o eixo bastante flexível, como ocorre em uma coluna de perfuração real. O motor será montado em dois rolamentos de esferas, de modo que o torque aplicado por ele seja obtido através de uma força medida por uma célula de carga posicionada a uma distância conhecida. Essa força, o torque gerado pelo motor de carga e a velocidade de rotação dos dois motores serão medidas e esses dados são adquiridos por um sistema de aquisição.

5. Aderência aos critérios de Priorização

5.1. Reserva de bolsas para Cursos Novos.

O programa de pós-graduação em Engenharia Física (PPENGFIS), vinculado à Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho (UACSA-UFRPE), está iniciando suas atividades em 2019.1. O PPENGFIS foi aprovado na 181ª reunião do CTC-CAPES em dezembro de 2018.

5.2. Apoio diferenciado à pós-graduação em Engenharias.

O projeto está vinculado ao programa de pós-graduação em Engenharia Física, sediado na UACSA-UFRPE, pertencente à grande área de Materiais da CAPES.

5.3. Projeto em temas estratégicos para o desenvolvimento do estado - Arranjos produtivos locais (APLs) do estado: Porto Digital e Metalmeccânico de Suape

Este projeto será desenvolvido no Programa de Pós-graduação em Engenharia Física (PPENGFIS) da Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho (UACSA-UFRPE), Campus das Engenharias, que é situado na cidade do Cabo de Santo Agostinho-PE. O desenvolvimento deste projeto é fundamental para a consolidação das atividades de pesquisa na cidade do Cabo de Santo Agostinho implicando em um ambiente propício para o desenvolvimento tecnológico de Pernambuco e, em particular, para o desenvolvimento do Porto Digital do Estado e o setor Metalmeccânico de Suape. O objetivo do projeto quanto ao desenvolvimento e aplicação de técnicas de controle não linear inteligente é de importância para o setor tecnológico de Pernambuco, particularmente o setor Metalmeccânico de Suape e o Porto Digital que envolve empresas com sofisticados procedimentos tecnológicos. Os diversos setores da indústria necessitam cada vez mais de sistemas inteligentes capazes de controlar os diversos processos envolvidos na produção, que são cada vez mais complexos envolvendo um grande número de variáveis e parâmetros.

6. Resultados Esperados

O desenvolvimento deste projeto contribuirá tanto do ponto de vista científico e tecnológico, como em aspectos de formação de capital humano através do envolvimento de estudante de pós-graduação e

iniciação científica. Do ponto de vista científico, nos propomos a estudar e implementar diversas estratégias de controle não lineares, aplicado a circuitos eletrônicos utilizados para simular experimentalmente sistemas não lineares reais que apresentam diferentes tipos de não linearidades, bem como desenvolver todo um aparato experimental para estudar uma planta de perfuração de poços de petróleo. Dentro dessas linhas as principais contribuições esperadas no desenvolvimento desse projeto são:

1. Desenvolvimento de modelos matemáticos de sistemas dinâmicos não lineares com comportamentos semelhantes aos seus respectivos sistemas reais;
2. Divulgação de novas leis de controle inteligentes com termos de compensação difusa, que podem ser utilizadas no controle de sistemas não lineares comumente encontrados na engenharia;
3. Validação das propostas de controle através de análises numéricas e experimentais, utilizando circuitos e uma planta de perfuração de poço de petróleo;
4. Relatórios de pesquisa e publicações científicas.

7. Cronograma de Atividades

1. Revisão bibliográfica;
2. Disciplinas obrigatórias e eletivas;
3. Modelagem matematicamente sistemas dinâmicos não lineares com importantes aplicações na engenharia, como sistemas de perfuração de poços de petróleo.
4. Implementação de circuitos eletrônicos para simular o comportamento da planta de perfuração de poço de petróleo, utilizando as diferentes estratégias de controle não linear aplicado a esses sistemas;
5. Realizar simulações numéricas dos sistemas não lineares modelados e relacionar as suas respostas em malha aberta com suas respectivas não linearidades.
6. Avaliar a estabilidade dos sistemas de controle apresentados através de análises matemáticas, simulações numéricas e experimentos;
7. Escrita de artigos e elaboração da dissertação.

Atividades	1º Semestre	2º Semestre	3º Semestre	4º Semestre
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

9. Referências Bibliográficas

- [1] [1] Slotine, J.J.E. and Li, W., 1991. Applied nonlinear control. Englewood Cliffs, NJ: prentice-Hall. Vol. 199, No. 1.
- [2] Lee, D., Jin Kim, H. and Sastry, S., 2009. Feedback linearization vs. adaptive sliding mode control for a quadrotor helicopter. International Journal of control, Automation and systems, 7(3), pp.419-428.
- [3] Rahmani, B., 2017. Robust output feedback sliding mode control for uncertain discrete time systems. Nonlinear Analysis: Hybrid Systems, 24, pp.83-99.
- [4] Lu, X. Y., & Spurgeon, S. K. (1997). Robust sliding mode control of uncertain nonlinear systems. Systems & control letters, 32(2), 75-90.
- [5] Li, Y., Tong, S., Liu, L. and Feng, G., 2017. Adaptive output-feedback control design with prescribed performance for switched nonlinear systems. Automatica, 80, pp.225-231.
- [6] Yu, X., & Kaynak, O. (2009). Sliding-mode control with soft computing: A survey. IEEE transactions on industrial electronics, 56(9), 3275-3285.