

Controle Granular Fuzzy Adaptativo com Observador de Estados

Proponentes:

Prof. Me. Lucas Silva de Oliveira – Orientador

Prof. Dr. Ignacio Rubio Scola – Coorientador

Nos últimos anos, os avanços na automação e na computação estão se convergindo para direções cada vez mais próximas. A sinergia dessa confluência de esforços está relacionada, muitas vezes, com a ampliação de dispositivos programáveis capazes de prover o desempenho em escala adequada para atender as necessidades encontradas em automações cotidianas. Contudo uma dificuldade encontrada nesse processo de busca consiste em lidar com a impossibilidade de acesso aos estados do sistema real, bem como, com os erros e/ou incertezas de modelagem. Além do que, para muitas aplicações, faz-se necessário o uso de *hardwares* com grande capacidade de processamento de dados. Portanto, tendo conhecimento desses gargalos, e da necessidade de uma solução para tal, nesse trabalho é proposto a modificação da topologia de controle denominada por linearização por realimentação granular robusta – RGFL, de modo a incluir uma malha fechada de observadores de estados. Além disso, é proposto o desenvolvimento de um *hardware* capaz de executar o algoritmo de aprendizado participativo presente nesse controlador. Ao final do projeto, espera-se obter uma topologia de controle modificada, capaz de estimar os estados do sistema e a partir dessa informação, estimar o erro ou incertezas de modelagem, além do que, obter um sistema embarcado capaz de executar em tempo real a topologia de controle proposto.

Palavras-chave: Controle robusto, sistemas evolutivos, granular.

i. Câmara Temática:

- Engenharia Civil, Engenharia Ambiental, Engenharia de Materiais, Engenharia de Minas, Engenharia Mecânica e Engenharia Metalúrgica;
- Engenharia Elétrica, Engenharia da Computação, Ciência da Computação, Engenharia de Produção e Engenharia de Transportes;
- Matemática, Estatística, Física, Química e Biologia;
- Ciências Humanas, Ciências Sociais, Ciências Sociais Aplicadas, Educação, Linguística, Letras e Artes.

ii. Modalidade de orientando(s):

- Bolsista;
- Voluntário.

iii. Este projeto está sendo enviado em substituição a uma proposta já submetida?

- Sim. Nº de projeto a ser substituído: _____;
- Não.

Divinópolis, 23 de outubro de 2018.

1 Apresentação do Problema

Existem diferentes técnicas disponíveis na literatura próprias para o controle de sistemas não lineares. Entretanto, alcançar um bom desempenho do sistema em malha fechada continua sendo um desafio. Uma das técnicas de controle não linear presente na Teoria de Controle é a linearização por realimentação exata do inglês *Exact Feedback Linearization*. Tal método consiste em transformar um sistema não linear em um linear equivalente por meio do cancelamento exato das não linearidades [2], [3]. Apesar de atrativa, para implementar essa topologia de controle é necessário que todos os estados do sistema estejam disponíveis e que todos os parâmetros sejam conhecidos [5]. Esses requisitos fazem com que a técnica seja de difícil implementação em sistemas reais, visto que nem sempre há acesso e disponibilidade dos estados do sistema. Além disso, a técnica torna-se frágil diante da presença de incertezas na modelagem dos parâmetros ou dinâmica incerta do sistema [4].

A fim de tornar qualquer sistema real passível de aplicação desse método, diversos trabalhos vêm buscando incluir alternativas que possibilitem implementar a estimação dos estados, bem como agregar robustez à malha de controle. Como exemplo, temos o trabalho proposto por Hajizadeh e Mohamed [1]. Nesse trabalho, é proposto uma abordagem para o controle da infecção pelo HIV através da linearização por realimentação, visto que nesse sistema os estados não encontram-se disponíveis, esses são estimados a partir de um observador não linear. Por sua vez, em [4] é apresentado uma estratégia para agregar robustez a malha de controle de sistemas linearizados por realimentação por meio do uso de um algoritmo de aprendizagem participativa evolutiva granular fuzzy – ePL. Esse algoritmo é empregado para estimar, em tempo real, incertezas ou erros de modelagem. Percebe-se que [1] detém o fato de observação dos estados. No entanto, não contempla modelos que apresentam algum tipo de incerteza. Já em [4], contempla-se a robustez a malha de controle, porém não examina casos em que os estados não se encontram disponíveis. Além disso, deve-se observar que a proposta apresentada em [4] faz uso de um algoritmo de aprendizagem em tempo real, o que passa a exigir um *hardware* capaz de executar a cada amostragem uma série de análise dos dados, ou seja, passa-se a exigir um *hardware* com elevada capacidade de processamento, principalmente quando o tempo de amostragem for relativamente pequeno, como é o caso, por exemplo, do sistema de controle do regulador de tensão *boost*.

Uma vez que os parâmetros incertos encontram-se presentes em todos os sistemas reais e ciente de que em muitos desses sistemas não há disponibilidade e/ou acesso a todos os estados da planta real, além disso tendo conhecimento dessas condições e de seus efeitos no sistema de controle, esse trabalho propõem o desenvolvimento de um novo controlador, que funda em uma só malha fechada de controle a robustez do controlador RGFL e a capacidade de estimar os estados do sistema. Além disso, nesse trabalho também é proposto o projeto e desenvolvimento de um *hardware* a baixo custo, no qual seja possível implementar as modernas topologias de controle adaptativo robusto.

Ao final desse trabalho espera-se obter uma nova topologia de controle adaptativa robusta e uma plataforma (*hardware*) que possibilite implementar experimentalmente a topologia de controle proposta. Além disso, espera-se que esse dispositivo possa contribuir tanto com as atividades de ensino quanto de pesquisa do CEFET-MG. Por fim, espera-se que os resultados obtidos nesse trabalho possam ser publicados em congressos, eventos e periódicos da área.

2 Objetivos da Pesquisa

Tem-se como objetivo geral dessa proposta o desenvolvimento de uma nova topologia de controle, a qual agregue ao controlador denominado linearização por realimentação granular robusta – RGFL uma malha de observadores de estados. Além disso, busca-se desenvolver o protótipo de um *hardware* dedicado, com processamento suficientemente rápido para amostrar e executar o algoritmo de aprendizagem participativa presente no controlador RGFL com observador proposto neste trabalho. Espera-se que tais soluções possam resultar nos seguintes benefícios:

- A definição de um conceito ubíquo que sirva como elo entre os discentes e os esforços dos

professores do curso Engenharia Mecatrônica do CEFET-MG Campus Divinópolis ao que se refere à técnica de controle robusto e microeletrônica.

- Uma malha de controle robusta, com sistema de aprendizagem e observador de estados.
- Um mecanismo para sintonia da malha com o observador de estados.
- A redução do custo operacional para implementação da topologia de controle proposta, com a eliminação do uso de alguns sensores no processo.
- Um *hardware* capaz de amostrar sinais analógicos de tensão a uma taxa de até 250 Ksps e gerar o sinal de controle via *Pulse Width Modulation – PWM*.
- Um *hardware* que possa ser programado com o uso de linguagens de baixo nível, como *assembly* ou C.
- Um *hardware* capaz de executar em tempo real topologias de controle robusto e/ou inteligente com taxas de amostragem de até 100 Ksps.
- Um *hardware* que possibilite a implementação futura de uma interface gráfica de supervisor que torne possível o acompanhamento em tempo real dos parâmetros do sistema e sinal de controle.

3 Metodologia de Trabalho

O projeto como um todo se apoia em dois pilares importantes, o desenvolvimento teórico da topologia de controle proposta e o projeto/construção do protótipo de *hardware*. Desse modo, buscando alcançar bons resultados em ambas as frentes de atuação, serão utilizados dois discentes, sendo: um discente bolsista para o desenvolvimento matemático do controlador e um discente voluntário para desenvolvimento do projeto eletrônico e construção do protótipo. Com a utilização de dois discentes o projeto proposto estará dividido em duas linhas de trabalho distintas. Sabendo que uma dessas linhas consiste no desenvolvimento matemático do controlador, o discente iniciará os trabalhos com uma revisão da técnica de controle não linear denominada linearização por realimentação exata – EFL, do algoritmo de aprendizagem participativa – ePL, do controlador granular robusto e por fim dos observadores de estados. Finalizada a fase de revisão, será iniciado a reprodução do controlador granular robusto, o qual será validado através de exemplos disponíveis da literatura. Uma vez finalizada essa etapa, dar-se-á início a inclusão da malha com observador ao controlador robusto. Por fim, a topologia desenvolvida terá sua performance avaliada por meio de simulações, para sistemas não lineares de primeira e segunda ordem, com respectivos graus relativos 1 e 2, finalizando assim as atividades do discente bolsista. Por sua vez, o discente voluntário iniciará os trabalhos com uma revisão na literatura em busca dos circuitos eletrônicos que irão compor cada uma das funcionalidades previstas do hardware, sendo elas: a alimentação do microcontrolador ds-PIC33FJ64MC802, a proteção e estabilidade do conversor analógico/digital, a proteção/isolamento da saída PWM do circuito de potência e a interface de comunicação com o supervisor. Uma vez que cada circuito for conhecido se dará início a fusão dos diferentes circuitos em uma única placa, para tal será utilizado o software *open source* KiCad. Uma vez que o esquemático do circuito estiver finalizado se dará o início a programação e simulações dos códigos com auxílio do software *source* MPLAB SIM. Finalizado as simulações de validações dos circuitos, será iniciado uma revisão no desenho esquemático do *hardware* para em seguida dar-se início ao projeto do *layout* PCB e confecção do circuito. Por fim, serão realizados testes e validações do circuito a fim de garantir que o circuito eletrônico apresente o comportamento desejado verificado durante as simulações. Uma vez que o *hardware* encontrar-se validado, espera-se utiliza-lo no controle de um sistema não linear com grau relativo maior ou igual a 2, como por exemplo, no controle da posição angular de uma placa ou o controle de tensão em um circuito boost.

4 Resultados e Impactos Esperados

Ao final do trabalho espera-se obter:

- uma malha de controle robusta adaptativa com observador de estados.
- uma placa de controle em tempo real para sistemas embarcados de baixo custo e alto desempenho computacional.

Além disso, espera-se que esses resultados possam ser publicados em congressos, eventos e/ou revistas e periódicos da área.

5 Recursos Necessários

Os recursos necessários para o desenvolvimento do projeto encontram-se disponíveis no laboratório de sinais e sistemas do campus Divinópolis – Lab. 315 e os equipamentos necessários para o desenvolvimento do projeto já se encontram a disposição do discente. No caso, os recursos necessários limitam-se a computadores, *softwares open source*, gravador para microcontrolador, dsPIC33FJ64MC802 e componentes eletrônicos de baixo custo.

6 Referências Bibliográficas

- [1] Iman Hajizadeh and Mohammad Shahrokhi. Observer-based output feedback linearization control with application to hiv dynamics. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 54(10):2697–2708, 2015.
- [2] A. Isidori. *Nonlinear Control Systems*. Springer, 3 edition, 1995.
- [3] H. Khalil. *Nonlinear Systems*. Prentice Hall, 3 edition, 2002.
- [4] L. Oliveira, V. Leite, J. Silva, and F. Gomide. Granular evolving fuzzy robust feedback linearization. In *Evolving and Adaptive Intelligent Systems*, Ljubljana, June 2017.
- [5] S. Sastry. *Nonlinear Systems - Analysis, Stability and Control*. Springer, 1 edition, 1999.

Plano de Trabalho do Bolsista

Modalidade do Orientando: Bolsista

1. Objetivos das Atividades: Modificar a topologia do controlador RGFL de modo a incluir a malha de observação dos estados.

2. Descrição das Atividades:

1.1 Revisão da Literatura: revisar as técnicas e métodos presente no controlador RGFL.

1.2 Programação do Controlador: programar em python o controlador adaptativo.

1.3 Simulação do Controlador: reproduzir exemplos da literatura.

2.1 Programação do Observador: programar o observador de estados.

3.1 Formulação do Problema: formular matematicamente a topologia de controle.

3.2 Fusão das Topologias: programar a nova topologia de controle.

3.3 Simulação do Novo Controlador: simular e avaliar o desempenho do controlador proposto.

4.1 Teste Experimental: avaliar experimentalmente a topologia de controle.

5.1 Divulgação dos Resultados: divulgação dos resultados em congressos e eventos da área.

3. Cronograma de Atividades:

Atividade (↓) Mês.(→)	1 ^o	2 ^o	3 ^o	4 ^o	5 ^o	6 ^o	7 ^o	8 ^o	9 ^o	10 ^o	11 ^o	12 ^o
1.1	✓	✓										
1.2		✓	✓									
1.3			✓	✓								
2.1				✓	✓							
3.1					✓	✓	✓					
3.2							✓	✓				
3.3								✓	✓			
4.1									✓	✓	✓	
5.1											✓	✓

Tabela 1: Cronograma de atividades.

4. Local de Desenvolvimento das Atividades: As atividades do discente serão realizadas no laboratório de Sinais e Sistemas – Lab. 315 do CEFET-MG campus Divinópolis.

5. Metodologia de Acompanhamento: O discente participará de reuniões de acompanhamento do projeto semanais e apresentará mensalmente um diário das atividades desenvolvidas. Este, por sua vez, será instrumento de discussão e acompanhamento do cumprimento da carga horária e das atividades propostas.

Plano de Trabalho do Bolsista

Modalidade do Orientando: Voluntário

1. Objetivos das Atividades: Projetar e construir um *hardware* dedicado, com poder de processamento para amostrar, processar e atuar em sistemas de controle utilizando malhas de controle robustas e adaptativas.

2. Descrição das Atividades:

- 1.1 Revisão da Literatura: busca pelos circuitos que compõem o *hardware*.
- 1.2 Simulação dos Circuitos: simular e validar os circuitos que do *hardware*.
- 1.3 Projeto de *Hardware*: fundir em uma única placa os diversos circuitos.
- 2.1 Programação e Simulação: programar o microcontrolador e validação dos circuitos.
- 3.1 Confeção do *Hardware*: confeccionar a placa eletrônica.
- 3.2 Avaliação do *Hardware*: testar e avaliar cada circuito do sistema eletrônico.
- 4.1 Programação do controlador: programar em C o controlador adaptativo.
- 4.2 Teste Experimental: avaliar experimentalmente a topologia de controle.
- 5.1 Divulgação dos Resultados: divulgação dos resultados em congressos e eventos da área.

3. Cronograma de Atividades:

Atividade (↓) Mês.(→)	1 ^o	2 ^o	3 ^o	4 ^o	5 ^o	6 ^o	7 ^o	8 ^o	9 ^o	10 ^o	11 ^o	12 ^o
1.1	✓	✓										
1.2		✓	✓	✓								
1.3				✓								
2.1					✓	✓						
3.1							✓					
3.2							✓	✓				
4.1									✓			
4.2									✓	✓	✓	
5.1											✓	✓

Tabela 2: Cronograma de atividades.

4. Local de Desenvolvimento das Atividades: As atividades do discente serão realizadas no laboratório de Sinais e Sistemas – Lab. 315 do CEFET-MG campus Divinópolis.

5. Metodologia de Acompanhamento: O discente participará de reuniões de acompanhamento do projeto semanais e apresentará mensalmente um diário das atividades desenvolvidas. Este, por sua vez, será instrumento de discussão e acompanhamento do cumprimento da carga horária e das atividades propostas.