

Desenvolvimento de técnicas de tratamento de incertezas nas funções de pertinência de sistemas fuzzy Takagi-Sugeno

**Proponentes: Luís Filipe Pereira Silva
Valter Júnior de Souza Leite**

Resumo

Este documento apresenta uma proposta de pesquisa a ser desenvolvida no CEFET-MG Unidade Divinópolis. O principal objetivo desta proposta de pesquisa é desenvolver formas de tratar incertezas na função de pertinência de um sistema fuzzy Takagi-Sugeno (T-S). Como consequência, condições inéditas de análise de estabilidade de sistemas de controle fuzzy T-S e síntese de controladores fuzzy T-S poderão ser obtidas. Os modelos fuzzy T-S são bastante utilizados para a representação de sistemas não lineares. Esses modelos fuzzy T-S são sistemas locais lineares ponderados pela função de pertinência, que é dependente das variáveis de premissas, que por sua vez podem ser os próprios estados do sistema. Como o controlador fuzzy T-S é também dependente da função de pertinência, isso resulta na necessidade de medir os estados a partir de sensores. Sabe-se que a leitura de sensores pode conter erros de medição ou até mesmo ruídos de medição, o que pode resultar em diferenças entre as funções de pertinências do modelo e do controlador. Diante disso, nas condições de análises e de síntese a serem desenvolvidas, será considerado que o sistema fuzzy T-S e o controlador fuzzy T-S não compartilham da mesma função de pertinência. Além disso, essas condições serão escritas como problemas de desigualdades matriciais lineares (LMIs, do inglês *Linear Matrix Inequalities*) e serão baseadas em uma candidata à função de Lyapunov. Pretende-se, também, fazer comparações com resultados semelhantes encontrados em artigos técnicos e científicos. Ademais, a ideia é fazer implementações práticas desses resultados a serem desenvolvidos. Para essas implementações práticas, serão utilizadas as plantas pilotos presentes no Laboratório Sinais e Sistemas do CEFET-MG Unidade Divinópolis. Para tanto, solicita-se um bolsista de iniciação científica para desenvolver estudos teóricos e práticos de sistemas não lineares contínuos ou discretos no tempo representados por modelos fuzzy T-S.

i. Palavras-chave: Sistemas fuzzy T-S, função de Lyapunov, LMIs.

ii. 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.

iii. Modalidade de orientando(s):

- ☒ Bolsista;
- ☐ Voluntário.

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

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

1 Apresentação do Problema

Uma forma de tratar sistemas não lineares é a partir da modelagem fuzzy Takagi-Sugeno (T-S). Um modelo fuzzy T-S descreve um sistema não linear por um conjunto de regras fuzzy SE-ENTÃO na forma de modelos locais lineares, que são conectados pela função de pertinência fuzzy [1], que pode possuir três tipos de dependência: do tempo, dos estados ou das entradas do sistema. A partir da função de pertinência, são calculados os parâmetros que fazem a interpolação dos modelos locais lineares ou afins e, portanto, um modelo fuzzy T-S representa uma classe de sistemas com parâmetros variantes no tempo (LPV). Isso resulta em uma estrutura com grandes vantagens na análise de estabilidade e na sintonia de controladores para sistemas de controle fuzzy, pois permite utilizar e desenvolver ferramentas de análise e síntese baseando-se na teoria de estabilidade de Lyapunov de sistemas lineares e de sistemas lineares com parâmetros variantes, por exemplo.

Considerando uma lei de controle por realimentação de estados fuzzy T-S, o que se tem são os ganhos do controlador ponderados pela própria função de pertinência, da mesma forma como acontece nos sistemas fuzzy T-S. Quando essa função de pertinência é a mesma utilizada no sistema fuzzy, tem-se uma compensação paralela distribuída (PDC, do inglês *Parallel Distributed Compensation*). A maioria dos trabalhos encontrados na literatura adotam essa condição, em que o sistema fuzzy T-S e o controlador fuzzy T-S compartilham da mesma função de pertinência.

Como mencionado, a função de pertinência de um modelo fuzzy T-S pode ser dependente dos estados do sistema. Visto que as informações desses estados serão consideradas sempre disponíveis, nesta pesquisa, por meio de sensores, essas informações podem conter erros de medição ou até mesmo ruídos de medição. Portanto, considerar que a função de pertinência do controlador fuzzy T-S que compõe o sistema de controle resultante, que é formado pelo sistema não linear realimentado por esse controlador, é a mesma do modelo fuzzy T-S pode gerar problemas de instabilidade e perda de performance caso exista erros de medições. Diante disso, torna-se interessante considerar esses erros de medição nas etapas de projeto de controladores fuzzy T-S.

Existem alguns poucos estudos publicados na literatura em que condições de análise de estabilidade de sistemas de controle fuzzy T-S e síntese de controladores fuzzy T-S foram desenvolvidas sendo que o sistema fuzzy T-S e o controlador fuzzy T-S não compartilham da mesma função de pertinência. Para maiores informações, veja o trabalho [3]. É importante mencionar que existem duas formas de tratar a situação descrita, que são: quando os números de variáveis de premissas do sistema fuzzy T-S e do controlador fuzzy T-S são iguais ou quando esses números são diferentes. O primeiro caso resulta que os números de regras fuzzy SE-ENTÃO do sistema fuzzy T-S e do controlador fuzzy T-S são iguais. Já no segundo caso, esses números de regras são diferentes. Observe que o segundo caso apresenta uma solução mais geral que o primeiro. Contudo, isso resulta em condições bastante conservadoras. Vale destacar que boa parte dos artigos disponíveis na literatura são baseados em funções Lyapunov e são escritos como desigualdades matriciais lineares (LMIs do inglês *Linear Matrix Inequalities*).

Diante do exposto acima, esta proposta de pesquisa baseia-se no desenvolvimento de formas de tratar incertezas na função de pertinência de sistemas Fuzzy T-S. Para isso, será considerado que essas incertezas resultarão em diferenças entre a função de pertinência do sistema e a função de pertinência do controlador. Como consequência disso, condições inéditas de análise de estabilidade de sistemas de controle fuzzy T-S e síntese de controladores fuzzy T-S quando planta e controlador não compartilham a mesma função de pertinência serão desenvolvidas. Inicialmente, será tratado o caso em que o número de variáveis de premissas é o mesmo. Após isso, o caso em que se tem o número de variáveis de premissas distintos será abordado. Para viabilizar essa pesquisa, que está bem na fronteira do desenvolvimento técnico e teórico de sistemas fuzzy, o possível candidato a bolsista de iniciação científica irá trabalhar em parceria com um aluno de mestrado. Diante disso, existe a possibilidade de que os resultados teóricos obtidos sejam testados na prática em plantas disponíveis no Laboratório de Sinais e Sistemas do CEFET-MG Unidade Divinópolis.

2 Objetivos da Pesquisa

Nesta seção é descrito de forma sucinta o objetivo geral do projeto de pesquisa e, também, são descritos os objetivos específicos. Fazendo-se cumprir esses objetivos específicos, esperá-se alcançar o objetivo geral.

2.1 Objetivo geral

Desenvolver uma metodologia para tratar incertezas nas funções de pertinência de sistemas fuzzy T-S. Além disso, desenvolver condições inéditas de análise de estabilidade de sistemas de controle fuzzy T-S e síntese de controladores fuzzy T-S, em que em ambos os casos tanto o modelo fuzzy T-S e o controlador fuzzy T-S não compartilhem da mesma função de pertinência. Pretende-se que sejam desenvolvidos resultados tanto para o caso contínuo no tempo quanto para o caso discreto no tempo.

2.2 Objetivos específicos

Listam-se os seguintes objetivos específicos:

- adquirir conhecimento na teoria de Lyapunov, desenvolvimento de LMIs, em modelagem fuzzy T-S, em análise de estabilidade de sistemas de controle fuzzy T-S e em síntese de controladores fuzzy T-S;
- investigar os resultados propostos na literatura de sistemas de controle fuzzy T-S quando o sistema fuzzy T-S e o controlador fuzzy T-S não compartilham da mesma função de pertinência;
- desenvolver condições de análise de estabilidade de sistemas de controle fuzzy T-S e síntese de controladores fuzzy T-S; e
- aplicar os resultados obtidos na teoria em sistemas reais.

3 Metodologia de Trabalho

Para o desenvolvimento do projeto, propõe-se o estudo dos seguintes temas: álgebra linear, sistemas lineares e não lineares contínuos no tempo, sistemas lineares e não lineares discretos no tempo, modelagem fuzzy T-S, teoria da estabilidade de Lyapunov e desigualdades matriciais lineares. Para o desenvolvimento e a implementação das condições de análise de estabilidade e síntese de controladores, serão utilizadas as seguintes ferramentas: complemento de Schur, lema da projeção e lema de Finsler.

Os resultados, avaliações e discussões serão baseadas em simulações computacionais e aplicações em plantas reais. As simulações serão realizadas com o uso do software *Python* e as bibliotecas *NumPy*, *CVXPY* e *CVXOPT*, a partir de modelos que descrevem sistemas reais ou acadêmicos. Para as aplicações em plantas físicas, pretende-se a utilização de plantas já existentes no laboratório de Sinais e Sistemas do CEFET-MG Unidade Divinópolis. Os resultados encontrados serão comparados com resultados presentes na literatura.

4 Resultados e Impactos Esperados

Com o desenvolvimento desta pesquisa, espera-se obter os resultados listados a seguir:

1. desenvolvimento de resultados teóricos inéditos na literatura de sistemas fuzzy T-S;
2. implementação prática de resultados teóricos desenvolvidos;

3. uma boa formação do aluno bolsista, visto que esse aluno terá oportunidade de aprofundar em teorias e conceitos de controle moderno;
4. o aluno bolsista irá trabalhar diretamente com um aluno de mestrado, resultando assim em uma verticalização do conhecimento; e
5. a escrita de artigos será consequência do projeto, visto que ele estará integrado com um projeto de mestrado. Isso possibilitará ao aluno bolsista adquirir experiência em pesquisa, irá possibilitar também o aluno aproveitar esse possível artigo no TCC, otimizando assim os recursos públicos, visto que no Departamento de Engenharia Mecatrônica de Divinópolis, o aluno que tiver publicado artigo em congresso de bom fator de impacto ou em algum periódico e caso a pesquisa desenvolvida tenha relação com o TCC do aluno, ele pode fazer o aproveitamento desse artigo e, assim, não ter necessidade de cursar as disciplinas associadas ao desenvolvimento do projeto de TCC.

5 Recursos Necessários

Os recursos necessários para o desenvolvimento da parte teórica deste projeto são computadores, Python e acesso aos portais CAPES e SCOPUS. Todos esses recursos já estão disponíveis. Para a aplicação dos resultados obtidos, tem-se por interesse utilizar uma planta física já existente no laboratório de Sinais e Sistemas do CEFET-MG *campus* Divinópolis. Não é descartado também a possibilidade de construções de plantas físicas a partir de equipamentos já existentes na unidade Divinópolis.

6 Referências

- [1] G. Feng. *Analysis and Synthesis of Fuzzy Control Systems: A Model-Based Approach*. CRC Press, Hong Kong, 2009.
- [2] R. C. Dorf and R. H. Bishop *Sistemas de controle moderno*. 10^a edição, LTC Editora, Rio de Janeiro, 2011.
- [3] H. K. Lam *A review on stability analysis of continuous-time fuzzy-model-based control systems: From membership-function-independent to membership-function-dependent analysis*. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 67:390–408, January 2018.
- [4] C.-T. Chen *Linear System Theory and Design*. 3^a edição, Oxford University Press, Inc., USA, 1998.
- [5] K. Tanaka and H. O. Wang. *Fuzzy control systems design and analysis: A linear matrix inequality approach*. John Wiley & Sons, New York, 2001.
- [6] J. G. VanAntwerp and R. D. Braatz *A tutorial on linear and bilinear matrix inequalities*. *Journal of Process Control*, 10(4):363–385, August 2000.
- [7] H K. Khalil. *Nonlinear Systems*. 3^a edição, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, EUA, 2002.
- [8] M. Vidyasagar. *Nonlinear Systems Analysis*. 2^a edição, Prentice Hall, Heidelberg, LNCIS, 1993.

Plano de trabalho do bolsista

Modalidade do Orientando: Bolsista PIBIC.

1. Objetivos das Atividades:

O aluno deverá estudar os conceitos básicos referentes ao projeto. Assim, ele terá a base necessária para o desenvolvimento do projeto.

2. Descrição das Atividades:

1. Estudos teóricos

- 1.1 Sistemas lineares contínuos e discretos no tempo
- 1.2 Sistemas não lineares contínuos e discretos no tempo
- 1.3 Teoria de estabilidade de Lyapunov e LMIs
- 1.4 Modelagem fuzzy T-S

2. Desenvolvimento e aplicação

- 2.1 Obtenção de condições de análise de estabilidade e síntese de controladores
- 2.2 Aplicação do controlador na planta real

3. Relatório final

- 3.1 Escrita do relatório final e elaboração de artigos para congressos e/ou revista.

3. Local de Desenvolvimento das Atividades:

Laboratório Sinais e Sistemas, sala 315, CEFET-MG *Campus* Divinópolis.

4. 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			✓	✓								
1.4				✓	✓							
2.1						✓	✓	✓	✓			
2.2								✓	✓	✓		
3.1										✓	✓	✓

Tabela 1: Cronograma de atividades.

5. Metodologia de Acompanhamento:

O bolsista será acompanhado semanalmente, por meio de reunião com orientador e co-orientador. A partir do 3^o mês de atividade, o bolsista irá apresentar seminários mensais descrevendo as atividades realizadas.