LÓGICA NEBULOSA APLICADA AO CONTROLE DE UM GERADOR DE VAPOR DE TUBO RETO

Glauco Antonio Santos da Silva [*, 1], Lamartine Nogueira Frutuoso Guimarães [**, 2]

(1)Inteligência Artificial
Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

(2)Divisão de Energia Nuclear - Instituto de Estudos Avançados
Centro Técnico Aeroespacial (CTA)

(*)Mestrado, Bolsa CAPES, e-mail: glauco@nucleo.inpe.br; (**) Orientador

Resumo

Este trabalho apresenta uma aplicação de lógica nebulosa aplicada ao controle de um sistema dinâmico chamado gerador de vapor de tubo reto. Serão desenvolvidos três controladores nebulosos cada um utilizará uma relação de implicação diferente: Mamdani min, Larsen e Takagi-Sugeno. Será então comparada as respostas dos controladores nebulosos entre si. Será também realizada uma validação utilizando a resposta do controlador PI clássico, através da utilização de um transitório padrão de projeto.

Palavras-Chave: lógica nebulosa, gerador de vapor, controle.

Introdução

A utilização da lógica nebulosa aplicada ao controle de sistemas vem crescendo nos últimos anos (Sandri, 2000), esta nova tecnologia pode ser utilizada como uma alternativa bastante interessante aos controladores PI. Algumas das vantagens do controlador nebuloso é a possibilidade da implementação da experiência humana, intuição e heurística para controlar o processo (Sandri, 2000; Kosko, 1992). O controlador nebuloso possibilita ainda simplicidade de prototipação, o que não acontece, por exemplo, com os controladores PI (Sandri, 2000). Isto se deve ao fato de que controladores PI utilizam equações diferenciais que precisam ser integradas no tempo, ao passo que controladores nebulosos utilizam funções de pertinência e regras se/então.

A Divisão de Energia Nuclear– IEAv/CTA, tem mantido um programa de pesquisa e capacitação com a finalidade de desenvolver o SIstema MODular Integrado de Simulação – SIMODIS. Este sistema é constituído por um conjunto de simuladores de componentes de usinas nucleares. Entre estes componentes encontra-se um gerador de vapor de tudo reto, conhecido como "Once-Through Steam Generator", OTSG.

Este trabalho utiliza lógica nebulosa para desenvolver o controle do modelo do OTSG. Será comparado o efeito de três relações de implicação diferentes (Mamdani min, Larsen e Takagi-Sugeno) na dinâmica de controle do OTSG.

Lógica Nebulosa

A lógica nebulosa foi desenvolvida à partir da teoria de conjuntos nebulosos, que foi elaborada na década de 60 pelo professor Lofti A. Zadeh, para tratar do aspecto vago da informação (Sandri, 2000; Azevedo, 2000; Correa, 1999). Esta teoria generaliza a teoria clássica dos conjuntos, que pode ser vista como um conjunto nebuloso específico denominado geralmente de *crisp*, permitindo que objetos possuam graus de pertinência à determinados conjuntos, o que possibilita a representação de conceitos imprecisos, sem perder a precisão matemática no tratamento (Fabro, 2000).

Controladores Nebulosos

Um controlador nebuloso tem como objetivo gerenciar automaticamente um processo qualquer, para tal, são necessários um sensor e um atuador. Estes, são externos ao controlador nebuloso, ou seja, não fazem parte do mesmo. O processo que esta sendo controlado gera uma saída que será lida pelo sensor, e este envia o valor lido para o controlador nebuloso que irá processar esta informação gerando o sinal de controle na saída. Este sinal será lido pelo atuador que finalmente irá ajustar o processo.

As leituras feitas pelo sensor e os sinais esperados pelo atuador são não nebulosos, e devido a este fato, o controlador nebuloso necessita de dois elementos denominados de fuzificador e defuzificador que estão localizados na entrada e saída do sistema de controle nebuloso respectivamente.

A função do fuzificador é traduzir a entrada do controlador nebuloso, que geralmente são valores numéricos, para conjuntos nebulosos e a função do defuzificador é exatamente o contrário, ou seja, transformar conjuntos nebulosos obtidos na saída do controlador em valores numéricos de controle (Fabro, 2000).

O controlador nebuloso necessita ainda de uma base de conhecimento (composta por uma base de dados e uma base de regras) e uma máquina ou procedimento de inferência para realizar o controle.

Gerador de vapor de tubo reto

Na maior parte dos reatores nucleares existentes no mundo, um componente que merece destaque especial, dentre todos os outros existentes em um reator, é o gerador de vapor (GV). O GV tem como principais funções a retirada de calor (energia) do núcleo do reator e transformar esta energia em vapor, a qual será usada para propulsionar o eixo de uma turbina, que está conectado mecanicamente a um gerador elétrico que produz eletricidade (Silva, 1999). O gerador de vapor de tubo reto é conhecido como OTSG (Once-Through Steam Generator), um GV deste tipo foi projetado para ser utilizado como um componente do reator rápido REARA.

Resultados obtidos

Um transitório padrão de projeto foi aplicado na temperatura de entrada do sódio no gerador de vapor. Este transitório é monotonicamente crescente, começando em 500s e terminando em 860s, sendo que a temperatura de entrada do sódio é aumentada em 10% do seu valor inicial. Na Figura 1 é apresentado a resposta, a este transitório, de um controlador PI padrão, onde a variável de controle é a vazão de saída de vapor. Na parte superior da Figura 1 é apresentado o comportamento da pressão de saída de vapor. Na parte inferior da Figura 1 é apresentado o gráfico da vazão de saída de vapor. Estes dados serão utilizados como guia de validação do controlador nebuloso.

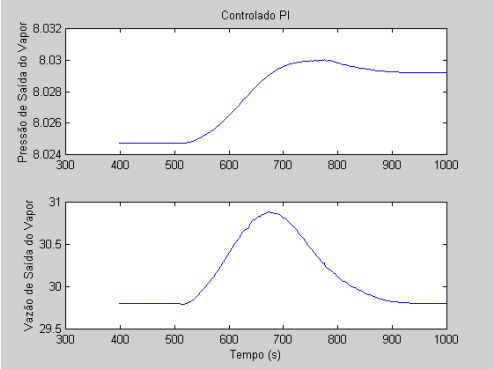

Figura 1: Resposta do Controlador PI Padrão ao Transitório.

Na Figura. 2 é apresentado o comportamento da pressão de acordo com a resposta dos três controladores nebulosos Mamdani, Larsen e Takagi-Sugeno. Verifica-se que estes controladores tem comportamento similar ao PI. Onde o PI apresenta um pouco mais de "overshoot".

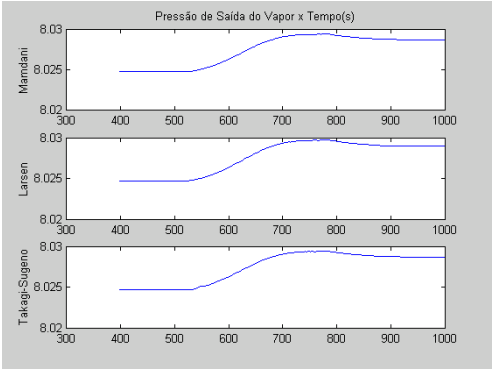

Figura 2: Comportamento da Pressão de Acordo com a Resposta dos Controladores Nebulosos.

A Figura. 3 apresenta os resultados dos três controladores nebulosos para a variável controlada, a vazão de saída de vapor. Novamente obtém-se curvas similares a obtida com o PI.

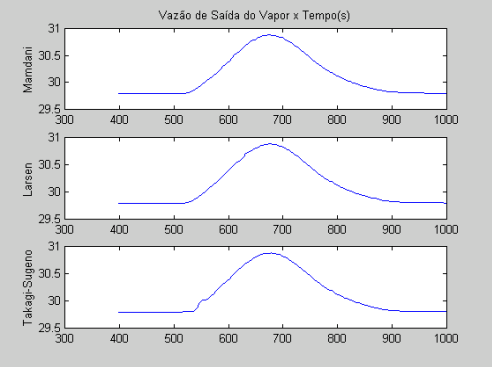

Figura 3: Comportamento da Vazão de Acordo com a Resposta dos Controladores Nebulosos.

Conclusões

Neste trabalho avalia-se o comportamento de controladores nebulosos em um gerador de vapor de tubo reto. Para tal utilizou-se um controlador do tipo PI como referência padrão e um transitório padrão de projeto. O controlador PI já vem de longa data, sendo utilizado com sucesso neste tipo de equipamento. O problema surge quando acontecem transitórios diferentes dos previstos no projeto inicial.

Os resultados apresentados neste trabalho mostram a resposta de controladores nebulosos a um transitório previsto no projeto original do OTSG. Desta forma, a utilização deste transitório padrão de projeto e a comparação das respostas dos controladores nebulosos com a do controlador PI, valida a resposta dos controladores nebulosos.

Referências Bibliográficas

[1] Azevedo, H. R, *Lógica fuzzy aplicada ao controle de processos.*[online].<http://www.geocities.com /capecanaveral/hangar/5833> . Abril 2000.

[2] Correa, C., *Uso de algoritmos genéticos na construção de controlador nebuloso para o controle de atitude de um satélite artificial durante a fase de apontamento*. São José dos Campos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE , 1999. Dissertação de Mestrado.

[3] Fabro, J. A, *Sistemas Nebulosos*. [online]. <http://www.dcc.unioeste-foz.br/~jfabro/cap0023.html>. Abril 2000.

[4] Gerra, R., *Projeto e simulação do controle de atitude autônomo de satélite usando lógica nebulosa*. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 1998. Dissertação de Mestrado.

[5] Kosko, B., *Neural networks and fuzzy systems: A dynamical systems approach to machine intelligence*. NewJersey: Prentice Hall, Inc, 1992.

[6] Sandri, Sandra A. *Introdução a lógica "fuzzy"*.[online].<http://jupiter.lac.inpe.br/~sandri/files/vitoria/ps>. Maio 2000.

[7] Silva, G. A. S. *Simulador iterativo de um gerador de vapor de tubo reto (aplicação no conceito do reator rápido REARA-60)*. Mogi das Cruzes: Universidade Braz Cubas, 1999. Trabalho de graduação interdisciplinar.

[8] Tanaka, K. *An introduction to fuzzy logic for practical applications*. New York: Spring-Verlag, 1997.

[9] Tsoukalas, L.H.; Uhrig, R.E. *Fuzzy and neural approaches in engineering*. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1997.

[10] Wang, L. X. *Adaptive fuzzy systems and control*. New Jersey: Prentice Hall, Inc, 1994.

[11] Zadeh, L. A., Fuzzy sets. Information and Control, v.8, n.3, p.338-353, June 1965.