

Controlador Nebuloso - Mamdani

Hiago O. B. Batista - 96704

Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Viçosa

Viçosa, Brasil
hiago.batista@ufv.br

Werikson F. O. Alves - 96708

Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Viçosa

Viçosa, Brasil
werikson.alves@ufv.br

Dyuliano S. Soares - 2022104711

Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Viçosa

Viçosa, Brasil
dyuliano.soares@ufv.br

Resumo—Este relatório é uma introdução ao controlador nebuloso mamdani, neste trabalho será abordado a lógica nebulosa para a solução de problemas de controle. Será verificado como projetar um controlador nebuloso mamdani para problemas de controle de sistemas e suas limitações.

Palavras-chave: Controle; Fuzzy; Sistemas

I. INTRODUÇÃO

A visão da lógica clássica tem distinções bem definidas na separação de conjuntos, com pertence ou não ao conjunto, de forma inflexível, sem existir meio-termo. Para muitos problemas essa lógica pode não ser a mais adequada, como, por exemplo, definir se um copo tem água. Pela lógica clássica o copo somente pode pertencer ou não ao conjunto do cheio, médio ou vazio, não existindo uma flexibilidade na fronteira do conjunto, por exemplo, “quase cheio” e “quase vazio” como mostra a Figura 1.

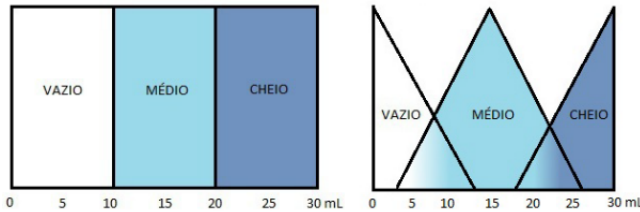


Figura 1: Representação do copo de água na forma de conjuntos com lógica clássica (a) e nebulosa (b).

Na computação nebulosa é necessário um raciocínio nebuloso e um mecanismo de inferência para obter a resposta. Existem vários mecanismos, os mais comuns: inferência composicional e escalonada [1]. Com os mecanismos de inferência são definidos modelos de sistemas nebulosos, sendo os mais utilizados: Mamdani [2] e Takagi-Sugeno [3].

A. Controladores Fuzzy

O modelo desenvolvido por Mamdani e Assilian (1975), surgiu com a tentativa de controlar uma caldeira de máquina a vapor, usando uma base de regras para controle baseadas em variáveis linguísticas. Segundo Gomide, Gudwin e Tanscheit (1995), um controlador fuzzy baseado em regras é descrito por meio das regras linguísticas interconectadas com várias ações a serem tomadas. A estrutura básica do controlador pode ser verificada na Figura 2.

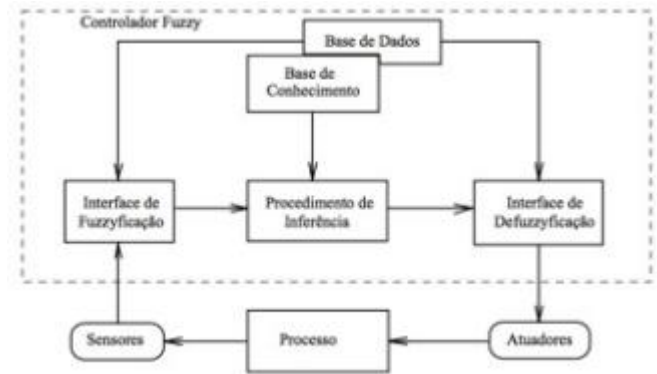


Figura 2: Controle com fuzzy

Fonte: Gomide, Gudwin e Tanscheit (1995).

Na saída do processo são adquiridas as informações determinísticas com sensores, as quais passam pelo processo de “fuzzyficação” que as transformam em conjunto fuzzy. Entre esse processo geralmente estão os conversores A/D e D/A, os fatores de escala e quantização. A alimentação para entrada do processo é feita de forma inversa, transformando o conjunto fuzzy, através da “defuzzyficação”, em um valor determinístico.

A essência do controlador é definida através das bases de regras (conhecimento) as quais são feitas por um especialista da área de atuação, a teoria de conjuntos fuzzy apenas é o meio de transformação dessas informações em dados matemáticos, onde são aplicadas as inferências [4].

B. Controladores PID

PID é um controlador versátil, metade dos controladores industriais atualmente empregam controles PID ou seus derivados [5]. Os ajustes do controlador são efetuados em campo, abrindo margem para aplicar diferentes métodos de otimização e derivações a fim de melhorar sua resposta. Algumas dessas técnicas podem ser algoritmos genéticos, redes neurais e até mesmo em conjunto com fuzzy. Não há necessidade inicialmente de conhecer a planta matemática para utilização deste controle, assim o torna um controlador adaptável, principalmente para processos que não é possível efetuar modelagem matemática.

Seu controle se dá em análise do tempo contínuo e em tempo discreto. Há um ganho proporcional para aumentar

ou diminuir a energia na saída do controlador. O ganho derivativo atuando em variações bruscas e ganho integral que diminui o erro final. Portanto, no caso de utilizar o tempo discreto é acrescentado T_s relativo ao tempo de amostragem.

II. OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

O objetivo deste trabalho é propor um controlador nebuloso Mamdani para os sistemas (1) e (2) comparar com um controlador PID.

$$H(s) = \frac{1}{(s+1)^3} \quad (1)$$

$$H(s) = \frac{2s+0.1}{s^3+0.1s^2+4s} \quad (2)$$

III. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A. Malhas de controle

Os sistemas a serem controlados estão ilustrados na Figura 3 e 4.

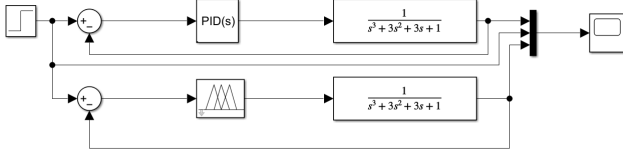


Figura 3: Malha de controle 1

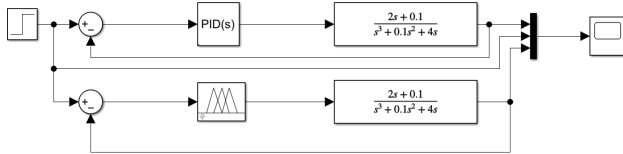


Figura 4: Malha de controle 2

B. Controlador PID

Foi proposto para a malha de controle 1 (Figura 3), um controlador PID com as constantes definidas experimentalmente, conforme mostra a equação (3).

$$\begin{cases} k_p = 2 \\ k_d = 0.05 \\ k_i = 0.5 \end{cases} \quad (3)$$

Para a resposta a rampa unitária foi proposto o controlador PID com as constantes proporcional, derivativa e integrativa sendo 1, 5 e 9 respectivamente, conforme mostra a equação (4).

$$\begin{cases} k_p = 1 \\ k_d = 5 \\ k_i = 9 \end{cases} \quad (4)$$

Por fim, com o intuito de estabilizar a malha de controle 2 (Figura 4) com resposta ao degrau, foi proposto o controlador com as constantes da equação (5).

$$\begin{cases} k_p = 6 \\ k_d = 8 \\ k_i = 4 \end{cases} \quad (5)$$

C. Controlador Fuzzy

Para o controlador nebuloso, foi proposto as seguintes regras de inferência:

$$\begin{cases} \text{se erro positivo} \rightarrow \text{positivo} \\ \text{se erro negativo} \rightarrow \text{negativo} \\ \text{se erro nulo} \rightarrow \text{nulo} \end{cases} \quad (6)$$

1) Malha 1 - Degrau:

Entrada:

$$\begin{cases} \text{positiva} \rightarrow \text{gaussiana media } 1 \text{ desvio } 0,800 \\ \text{negativa} \rightarrow \text{gaussiana media } -1 \text{ desvio } 0,350 \\ \text{nula} \rightarrow \text{gaussiana media } 0 \text{ desvio } 0,205 \end{cases} \quad (7)$$

Saída:

$$\begin{cases} \text{positiva} \rightarrow \text{gaussiana media } 1,5 \text{ desvio } 0,290 \\ \text{negativa} \rightarrow \text{gaussiana media } -1,5 \text{ desvio } 0,290 \\ \text{nula} \rightarrow \text{gaussiana media } 0 \text{ desvio } 0,005 \end{cases} \quad (8)$$

2) Malha 1 - Rampa

Entrada:

$$\begin{cases} \text{positiva} \rightarrow \text{gaussiana media } 5 \text{ desvio } 3,387 \\ \text{negativa} \rightarrow \text{gaussiana media } -5 \text{ desvio } 2 \\ \text{nula} \rightarrow \text{gaussiana media } 0 \text{ desvio } 0,671 \end{cases} \quad (9)$$

Saída

$$\begin{cases} \text{positiva} \rightarrow \text{gaussiana media } 7 \text{ desvio } 6 \\ \text{negativa} \rightarrow \text{gaussiana media } -7 \text{ desvio } 6 \\ \text{nula} \rightarrow \text{gaussiana media } 0 \text{ desvio } 1,116 \end{cases} \quad (10)$$

3) Malha 2 - Degrau

Entrada

$$\begin{cases} \text{positiva} \rightarrow \text{trapezoidal } 0,05 \ 0,7 \ 1 \ 1,5 \\ \text{negativa} \rightarrow \text{trapezoidal } -1,5 \ -1 \ -0,5 \ -0,05 \\ \text{nula} \rightarrow \text{trapezoidal } -0,3 \ -0,08 \ 0,08 \ 0,3 \end{cases} \quad (11)$$

Saída

$$\begin{cases} \text{positiva} \rightarrow \text{gaussiana media } 2 \text{ desvio } 0.2 \\ \text{negativa} \rightarrow \text{gaussiana media } -2 \text{ desvio } 0.2 \\ \text{nula} \rightarrow \text{gaussiana media } 0 \text{ desvio } 0.3 \end{cases} \quad (12)$$

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O gráfico da Figura 5 demonstra comparações entre a resposta ao degrau do PID e do controlador nebuloso. Perceba que ambos controladores conseguiram atingir o estado de regime permanente com erro próximo de zero e apresentaram uma resposta subamortecida. O controlador PID (linha amarela) demonstrou ser mais rápido para atingir o valor desejado, entretanto houve um maior *overshoot* e demorou mais tempo que o controlador nebuloso para atingir o regime permanente.

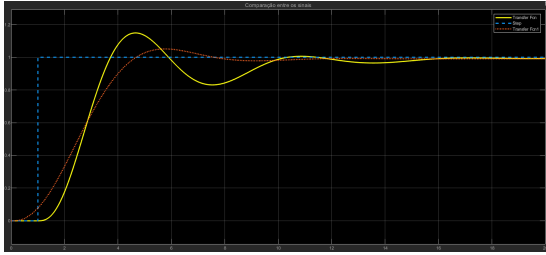


Figura 5: Resposta ao degrau do primeiro sistema.

O gráfico da Figura 6 demonstra comparações entre a resposta ao degrau do PID e do controlador nebuloso para a entrada de uma rampa unitária. Para este caso, nenhum dos controladores conseguiu atingir com precisão o *setpoint*, entretanto ambos apresentaram comportamento subamortecido e o controlador nebuloso (linha vermelha) apresentou um período de oscilação menor, sendo, portanto, um pouco mais estável.

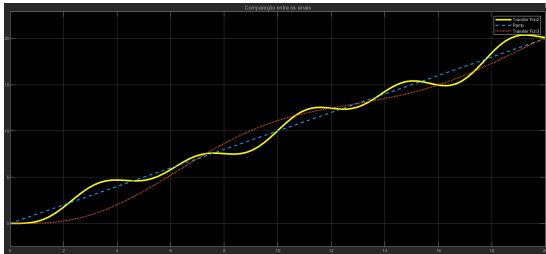


Figura 6: Resposta a rampa do primeiro sistema.

Por fim, o gráfico da Figura 7, mostra a tentativa de estabilização do sistema da equação (2). Perceba que para este sistema o PID apresentou uma resposta melhor, pois rapidamente convergiu para o *setpoint*, enquanto o controlador nebuloso demorou a atingir o *setpoint* e quando atingiu não apresentou convergência em regime permanente.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir deste trabalho, foi possível comparar as vantagens e desvantagens de cada método. O PID aparenta ser um método mais rígido, porém é de simples implementação. O controlador nebuloso, por outro lado, é mais flexível e pode apresentar respostas mais satisfatórias que o PID, entretanto dependerá da habilidade do especialista em definir corretamente as regras de inferências e curvas de pertinência.

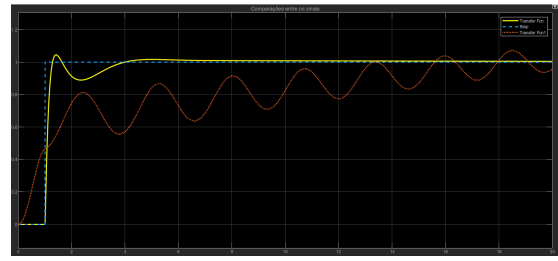


Figura 7: Resposta ao degrau do segundo sistema.

REFERÊNCIAS

- [1] Myriam Regattieri De Biase da Delgado, Fernando José Von Zuben, Fernando Antonio Campos Gomide, et al. *Projeto automático de sistemas nebulosos: uma abordagem co-evolutiva*. PhD thesis, [sn], 2002.
- [2] Ebrahim H Mamdani and Sedrak Assilian. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International journal of man-machine studies*, 7(1), 1975.
- [3] Tomohiro Takagi and Michio Sugeno. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, (1), 1985.
- [4] Fernando Gomide, Ricardo R Gudwin, and Ricardo Tanscheit. Conceitos fundamentais da teoria de conjuntos fuzzy, lógica fuzzy e aplicações. In *Proc. 6 th IFSA Congress-Tutorials*, volume 59, 1995.
- [5] Katsuhiko Ogata. *Engenharia de controle moderno*, 3ªed. São Paulo, 2003.