

AUTOSSINTONIA DE CONTROLADORES PROPORCIONAIS FUZZY DO TIPO SUGENO PELA OTIMIZAÇÃO POR ENXAME DE PARTÍCULAS

KARLA TAIS LUTKEMEYER BUENO¹; RENATO DUTRA PEREIRA²

¹Fundação Universidade Federal de Rio Grande – karlalbueno@gmail.com

²Fundação Universidade Federal de Rio Grande – renatodutrapereira@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de estratégias de controle automático de processos químicos é significativo para que a operação regulatória permita implementar a melhoria nas condições operacionais dos pontos de vista da segurança, do rendimento e do meio ambiente, funções primordiais do uso de controle automático de processos.

A teoria dos conjuntos *fuzzy*, desenvolvida por ZADEH (1965), utiliza um conjunto de regras linguísticas “se-então” para se aproximar da forma com que o raciocínio humano relaciona as informações, buscando respostas aproximadas aos problemas (AGUADO & CANTANHEDE, 2010). Este trabalho teve por objetivo geral desenvolver um algoritmo de autossintonia para uma implementação de controlador *fuzzy* proporcional do tipo Sugeno, usando como ferramenta a otimização por enxame de partículas (PSO) (EBERHART, 1995). Dentre os objetivos específicos estiveram: implementar a simulação digital do controle de nível de um tanque com a solução da equação diferencial ordinária pelo método de Euler; construir o algoritmo de controle *fuzzy* proporcional do tipo Sugeno; desenvolver e programar o algoritmo de otimização por enxame de partículas adequado para o problema de autossintonia de um controlador operando em malha fechada com o processo simulado.

2. METODOLOGIA

Um tanque aberto foi modelado matematicamente, com o intuito de simular o controle de nível do mesmo, mantendo-o próximo ao *setpoint*, conforme o exemplo de LUYBEN (1990). Através de uma válvula de controle a vazão de saída foi manipulada. Em determinado instante de tempo, a vazão de entrada, anteriormente constante, sofreu uma perturbação de grau.

Utilizou-se o método de Euler, apresentado na equação 1, para resolver numericamente a equação diferencial ordinária do balanço de material juntamente com a equação constitutiva da válvula:

$$h_{n+1} = h_n + \text{passo} * \frac{dh}{dt} \quad (1)$$

Onde h_{n+1} é o nível do tanque no instante após o cálculo da derivada dh/dt ; h_n é o nível no instante t ; passo é o intervalo de integração do método e dh/dt é a taxa de variação do nível com o tempo.

Considerou-se a temperatura, a pressão e a área de seção transversal do tanque constantes, resultando nas seguintes equações:

$$F_o = C_v * \sqrt{\rho * g * h} \quad (2)$$

$$\frac{dh}{dt} = \frac{F_o - F_i}{A} \quad (3)$$

Onde F_o é a vazão de saída; F_i é a vazão de entrada; A é a área da seção transversal do tanque; ρ é a massa específica do fluido; g é a aceleração gravitacional e h o nível do tanque.

O controlador *fuzzy* do tipo Sugeno proporcional foi acoplado ao simulador do tanque, formando o simulador em malha fechada.

Na primeira etapa desse sistema lógico de controle *fuzzy*, a etapa de fuzzificação, os dados de entrada são transformados em variáveis linguísticas, sendo calculadas as funções de pertinência, o que permite que em seguida seja feita a representação dessas variáveis linguísticas no intervalo entre [0,1], gerando um resultado com pares ordenados x e y . A figura 1 apresenta como procede-se na fuzzificação do erro.

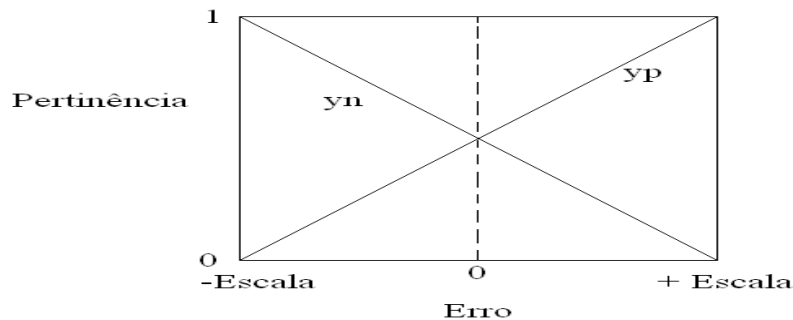


Figura 1: erro em função da pertinência.

$$y_p = 1 - \frac{\text{escala} - \text{erro}}{2 * \text{escala}} \quad (4)$$

$$y_n = \frac{\text{escala} - \text{erro}}{2 * \text{escala}} \quad (5)$$

Nesse modelo, *fuzzy* Takagi-Sugeno (TS), o conjunto *fuzzy* gerado é interpretado pelo mecanismo de inferência, o qual é capaz de descrever sistemas dinâmicos não-lineares por meio de conjuntos lineares dinâmicos utilizando as regras se-então, processando os dados fornecidos e produzindo uma conclusão exata ou aproximada (AGUADO & CANTANHEDE, 2010). A sintonia desse controlador é feita de acordo com o ganho do controlador e a escala do erro (TAKAGI, 1983).

Em seguida, implementou-se o método de otimização por enxame de partículas (PSO) para a sintonia do controlador, visando minimizar os parâmetros de desempenho em malha fechada, utilizando como variáveis de sintonia a escala (equação 6) e o $ksugeno$ (equação 7). Dessa forma, o par de variáveis que gera o menor parâmetro de desempenho é considerado o melhor ajuste de sintonia.

$$\text{escala}_{i+1} = \text{escala}_i + \text{velescala}_i \quad (6)$$

$$ksugeno_{i+1} = ksugeno_i + \text{velksugeno}_i \quad (7)$$

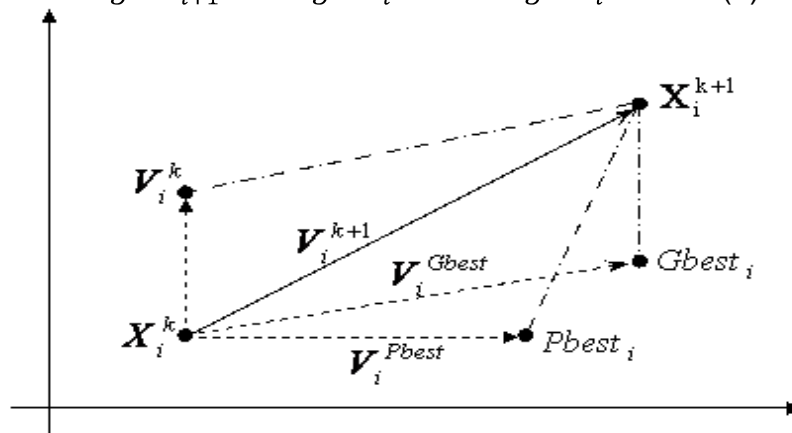


Figura 2: Adaptado de ALLAOUA, 2010.

A figura 2 mostra como as posições da população e de cada indivíduo variam no algoritmo PSO. Onde X^k é a posição atual; X^{k+} é a posição após um

tempo; V^k é a velocidade atual; V^{k+1} é a velocidade após algum tempo; V^{Pbest} é a velocidade baseada no Pbest e V^{Gbest} é a velocidade baseada no Gbest.

A simulação da modelagem do controlador de nível foi feita em Scilab 5.3.3.

Os parâmetros de desempenho em malha fechada usados são descritos das equações 8, 9, 10 e 11:

$$IAE = \sum |erro| \quad (8) \quad ISE = \sum erro^2 \quad (9)$$

$$ITAE = \sum t * |erro| \quad (10) \quad ITSE = \sum t * erro^2 \quad (11)$$

Onde IAE é o somatório do erro absoluto; ISE é o somatório do erro quadrático; ITAE é o somatório do erro absoluto vezes o tempo e ITSE é o somatório do erro quadrático vezes o tempo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a realização das simulações numéricas, acompanhados através dos gráficos de IAE, ISE, ITAE e ITSE em função do tamanho da população de partículas do PSO e do número de iterações, foi determinado que os melhores resultados foram obtidos através do uso do critério do IAE. A figura 3 apresenta o comportamento do IAE em função do tamanho da população e do número de iterações.

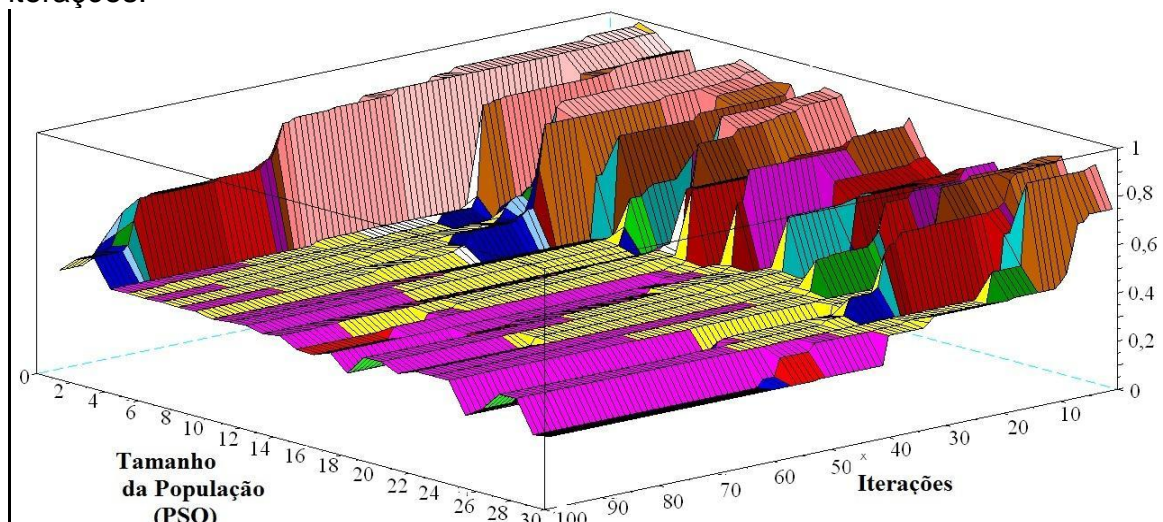


Figura 3: IAE minizado pelo algoritmo PSO.

É possível observar que a minimização do IAE com tamanho da população de partículas muito pequeno, não alcança o mínimo, mas já com 8 partículas, se alcança um resultado de minimização em um número de iterações razoável, da ordem de 40 iterações. Esse resultado está de acordo com o esperado, segundo EBERHART (1995), que menciona que o número de partículas da população deve ser da ordem de 4 vezes a dimensionalidade do problema, no caso 2.

O gráfico da simulação dinâmica do nível para a melhor sintonia com o IAE gerou-se os resultados apresentados na figura 4.

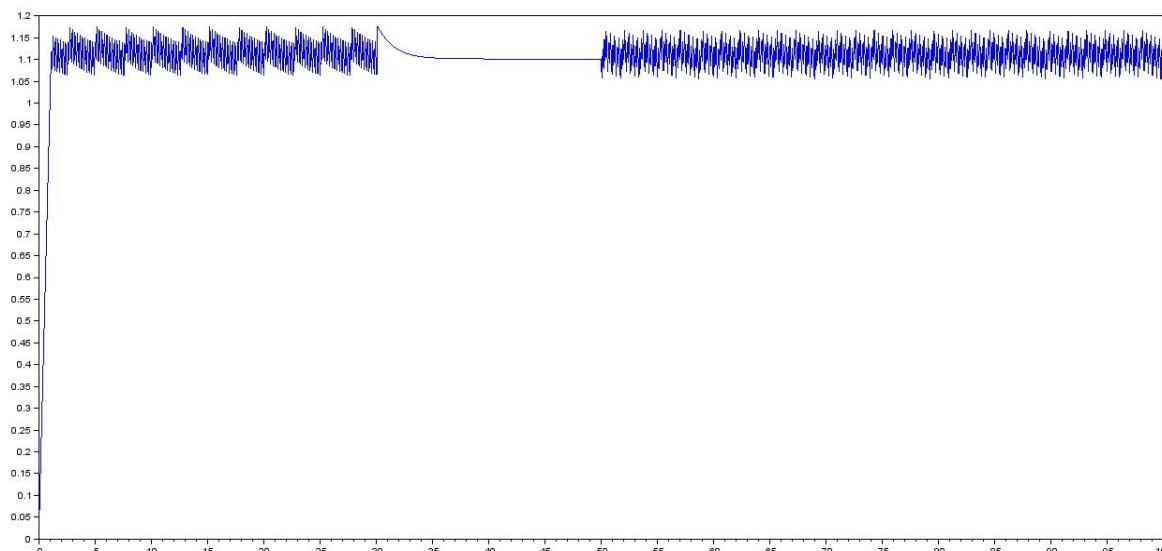


Figura 4: número de iteração *versus* nível do tanque.

Pode-se observar que após um pequeno intervalo de tempo o nível do tanque manteve-se próximo do *setpoint* (1,1m) variando aproximadamente 0,10 m em torno do mesmo, esse comportamento era esperado por tratar-se de um controlador proporcional, composto somente de 2 funções de pertinência. Quando da perturbação de degrau na entrada, aos 30s de simulação, o controlador *fuzzy* proporcional Sugeno foi capaz de trazer a variável controlada novamente para o *setpoint*.

4. CONCLUSÕES

Foi modelado, desenvolvido e implementado um controlador *fuzzy* do tipo Sugeno para controle de nível em malha fechada, dotado de autossintonia através da otimização por enxame de partículas. Desenvolveu-se o algoritmo para adequar-se ao problema de autossintonia do controlador que opera em malha fechada, e finalmente, os parâmetros de operação foram avaliados. Para o problema em questão o melhor parâmetro de avaliação de desempenho a ser minimizado foi o IAE. Com o resultado deste trabalho será possível implementar procedimento semelhante para controladores *fuzzy* PI e PID.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUADO, A. G.; CANTANHEDE, M. A. **Lógica Fuzzy**. 2010. Monografia. Universidade Estadual de Campinas.
- DRIANKOV, D.; HELLENDORN, H.; REINFRANK, M. **An Introduction to Fuzzy Control**. 2nd Ed., Springer-Verlag, New York, 1996.
- KENNEDY J., EBERHART, R.C. **Particle Swarm Optimization**. Proc. IEEE International Conference on Neural Networks, IEEE Service Center, Piscataway, NJ, IV: 1942-1948, Perth, Australia, 1995.
- LUYBEN, W.L. **Process Modeling Simulation and Control for Chemical Engineers**. 2nd ed., McGraw-Hill, New York, 1990.
- TAKAGI, T.; SUGENO, M. , **Derivation of Fuzzy Control Rules from Human Operator's Control Actions**. Sanchez and Gupta, pp. 55-60, 1983.
- ZADEH, L. A. **Fuzzy Sets**. Information and Control. Vol. 8, p.338-353, 1965.