



2º CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO & GÁS

CONTROLE ADAPTATIVO UTILIZANDO MÚLTIPLOS MODELOS EM UMA REDE *FIELDBUS*

Rafael Carvalho Uberti, Ricardo Souza Santos, Agostinho Plucenio

Departamento de Automação e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina,
88040-900-Florianópolis-SC, {uberti, rsantos, plucenio}@das.ufsc.br

Resumo – Os sistemas não-lineares caracterizam-se pela dependência do comportamento da resposta do sistema em relação à amplitude e tipo de entrada. Em sistemas que apresentam tal característica, o controle por realimentação linear com ganho constante pode não proporcionar um bom desempenho, fazendo-se então necessária a utilização de um controlador mais sofisticado que trabalhe em uma ampla faixa de operação, rejeitando perturbações. Neste trabalho, é apresentada uma forma de controle adaptativo via rede *Fieldbus*, utilizando múltiplos modelos e lógica difusa como ferramenta capaz de suavizar a ação do controlador na passagem de uma faixa de operação para outra. A técnica apresentada neste trabalho pode ser aplicada a processos da indústria de petróleo e gás, caracterizada pela predominância de processos não-lineares. Considerando que atualmente existe uma tendência para uma crescente utilização de controle e monitoração de processos via rede industrial tipo *Fieldbus* mostramos uma aplicação da técnica, efetuando o controle de nível em uma planta didática, baseada em uma rede *Foundation Fieldbus*.

Palavras-Chave: Controle adaptativo; Múltiplos modelos; Sistema supervisório; Controle via rede *Fieldbus*; Lógica difusa.

Abstract – The majority of the oil industry processes are characterized by a nonlinear behavior. For this class of systems traditional controllers based on a linear feedback structure with constant gains cannot achieve a good performance in a wide range of operation, rejecting disturbances. Then, it is necessary to apply new design of control strategies. The proposal of this work is to apply an adaptative controller adopting a multiple model structure using elements of fuzzy logic, allowing a smooth transition between different regions of operation. The proposed approach is based on Fieldbus Networks, due to the increased utilization of this technology in the oil and gas industry. To clarify the application a controller is designed for a level control problem of an educational plant based on Foundation Fieldbus.

Keywords: Adaptive control; Multiple models; Supervisory systems; Fieldbus networks; Fuzzy logic.

1. Introdução

Os sistemas não-lineares são uma constante na indústria do petróleo, tanto em processos *upstream* quanto em *downstream*. Segundo Ogata (1982), esses sistemas se caracterizam por exibir um comportamento da resposta dependente da amplitude e tipo de entrada. Por exemplo, um sistema não-linear pode comportar-se de forma completamente diferente em resposta a entradas em degrau de diferentes amplitudes. Tendo em vista essa variação de comportamento, a utilização de um controle por realimentação linear com ganho constante poderia não proporcionar a resposta desejada. Uma abordagem para se compensar esse comportamento variável é a utilização de controle adaptativo baseado em múltiplos modelos, onde são identificadas diversas faixas de operação com comportamentos diferentes. As redes do tipo *Fieldbus* vêm sendo aplicadas a diversos processos da indústria do petróleo e gás o que implica na necessidade de sua incorporação às estratégias de controle. A fim de aplicar a técnica apresentada neste trabalho definimos dois objetivos: (i) Na utilização de múltiplos modelos, decidimos suavizar a ação de controle entre pontos de operação diferentes, de forma a evitar oscilações indesejadas; (ii) No emprego da rede *fieldbus*, buscamos determinar uma forma de controlar os instrumentos de campo utilizando controle adaptativo. Para exemplificar a aplicação da técnica, foi realizada uma aplicação de controle de nível em uma planta didática, ilustrada na figura 1, baseada em uma rede *fieldbus*. A aplicação contou com a utilização de dois instrumentos *fieldbus*: um medidor de nível instalado no tanque, e um posicionador de válvula responsável por controlar a vazão de entrada de fluido no tanque.



Figura 1 – Planta Didática Smar® (cortesia Smar®)

2. Método Proposto

Para aumentar a não-linearidade do processo de nível, foi adicionado ao tanque um bloco de concreto de maneira que a seção transversal deste se modificasse conforme a variação da altura do tanque. A idéia é mostrar que um controlador com parâmetros constantes é menos eficiente do que um controlador com parâmetros variáveis em faixas de operação diferentes. A mudança de parâmetros do controlador é determinada pela variação do nível. Escolhemos pontos de operação que se diferenciam entre si através do ganho estático e da constante de tempo. Efetuamos uma linearização em torno destes pontos para encontrar um modelo de cada um deles na forma de funções de transferência, fazendo com que o sistema seja representado por múltiplos modelos, conforme será mostrado na seção *Modelagem do Processo*. Para cada um deles sintonizamos os parâmetros de um controlador PID que fornecem a melhor resposta temporal, utilizando como ferramenta a técnica de lugar das raízes (Ogata, 1982). O próximo passo é a construção de um sistema supervisor que altera os parâmetros automaticamente de acordo com a variação de nível do fluido. Essa alteração de parâmetros deve seguir um conjunto de regras de forma que ocorra de forma suave, para não causar grandes oscilações no atuador (válvula de controle). Para tanto, um controle adaptativo utilizando lógica difusa é utilizado, conforme será descrito na seção *Aplicação da Lógica Difusa*. O resultado é um controlador que se adapta a cada faixa de operação do sistema pela mudança dinâmica de seus parâmetros, como será mostrado na seção *Controlador Proposto*.

3. Modelagem do Processo

Para a modelagem do processo, definimos primeiramente os pontos de operação. Foram escolhidos três pontos equidistantes (10, 45 e 80% da altura do tanque) em níveis nos quais a seção transversal é diferente. Realizando-se alguns ensaios em malha aberta percebeu-se que, em cada ponto, uma aproximação de primeira ordem com atraso é a que melhor representa o sistema. Para a identificação, o sistema é levado ao ponto de equilíbrio e aplica-se um sinal de

excitação ao sistema do tipo PRBS proposto por Brosilow e Joseph (2001). Os valores de abertura da válvula, nível e tempo eram amostrados a cada três segundos. Após a finalização da identificação uma aproximação por regressão linear por mínimos quadrados é realizada através do software *matlab*. O atraso de transporte foi verificado visualmente como sendo igual a quatro períodos de amostragem. Com isso, foram obtidas as funções de transferência discretas para os três pontos de operação. O modelo discreto, contínuo (sem atraso) e contínuo com atraso aproximado por Padé (Ogata, 1982) estão representados na tabela 1.

Tabela 1. Modelos dos três pontos de operação

Ponto de Operação	Modelo Discreto	Modelo Contínuo	Modelo Contínuo com atraso aproximado
10%	$\frac{0,1817z^{-1-d}}{1-0,9411z^{-1}}$	$\frac{3,0845}{49,4s+1}$	$\frac{0,5138s-3,0831}{8,2305s^2+49,5473s+1}$
45%	$\frac{0,117z^{-1-d}}{1-0,9723z^{-1}}$	$\frac{4,2217}{106,8s+1}$	$\frac{0,7036s-4,2206}{17,7936s^2+106,9217s+1}$
80%	$\frac{0,0661z^{-1-d}}{1-0,9708z^{-1}}$	$\frac{5,1519}{228,4s+1}$	$\frac{0,0858s-0,5152}{3,8052s^2+22,8463s+1}$

4. Aplicação da Lógica Difusa

Conforme já foi explicado, a lógica difusa será utilizada para suavizar a transição entre as faixas de operação delimitadas no processo de identificação. O programa criado em *matlab* tem a função de inferir um valor para o fator de ponderação do controlador (**fp**). A base de conhecimento é formada pelo conjunto de regras da lógica difusa, descritas na figura 2, que indicam o valor de **fp**, (variável de saída) em função do valor do **Nível** (variável de entrada).

Tabela 2 – Regras da lógica difusa

<p>Regra 1: SE Nível é baixo ENTÃO fp é baixo</p> <p>Regra 2: SE Nível é médio ENTÃO fp é médio</p> <p>Regra 3: SE Nível é alto ENTÃO fp é alto</p>

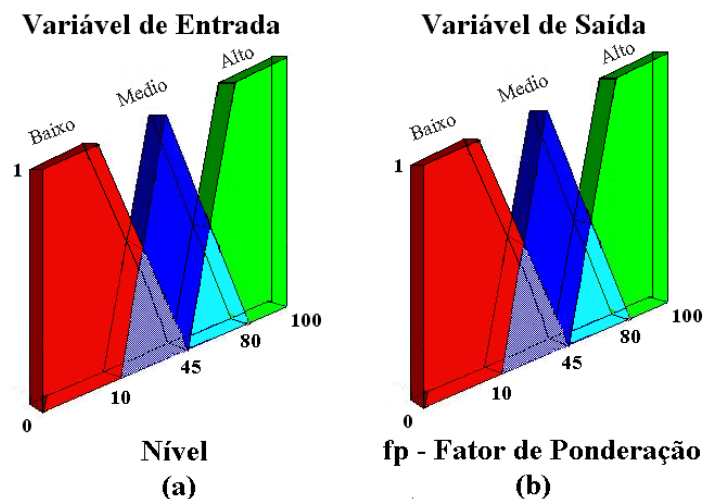


Figura 2 – Gráficos da lógica difusa

Segundo Pedryes (1993), a execução da lógica é composta por três etapas: *Fuzificação*, *Inferência* e *Desfuzificação*. Como demonstrado na Figura 2(a), na *fuzificação* os valores das variáveis de entrada são transformados em valores lingüísticos correspondentes a baixo, médio e alto, de acordo com as partições nebulosas definidas para cada uma dessas variáveis. Na etapa de *inferência*, o conjunto de regras difusas é acessado e as regras habilitadas são disparadas, gerando um valor lingüístico para a variável de saída **fp**, como interpretado na figura 2(b). Na terceira e última etapa, o valor da variável de saída **fp** é então *desfuzificada* para obter-se um valor numérico para o fator de ponderação do controlador. No caso de estudo proposto no projeto, o controle de nível da planta, o fator de ponderação **fp** multiplica os parâmetros do PID. No gráfico de lógica difusa do fator de ponderação, a partição nebulosa identificada como **baixa** representa os parâmetros do controlador PID correspondente à faixa de operação mais baixa, a partição **média** representa os parâmetros da faixa média e a partição **alta** os da faixa mais alta. Os parâmetros finais do controlador serão iguais à soma das parcelas de cada controlador. O ajuste dos parâmetros será explicado mais detalhadamente na seção *Controlador Proposto*.

5. Controlador Proposto

O controlador utilizado para realizar a aplicação é do tipo PID, localizado no posicionador da válvula de controle. Na etapa de identificação, obteve-se o modelo de cada faixa de operação através de funções de transferência. De posse dos modelos, o método de lugar das raízes (Ogata, 1982) foi utilizado para se ajustar os parâmetros de cada controlador. Foram obtidos então três controladores, o primeiro correspondente ao ponto de operação de 10%, o segundo a 45% e o último a 80% de nível. Na tabela 2 estão ilustradas as funções de transferência representativas do controlador de cada ponto de operação e seus parâmetros, onde K_c corresponde ao ganho proporcional, T_i à constante de tempo integrativa e T_d à constante de tempo derivativa que é igual a zero em todos os casos, tendo em vista que as experimentações mostraram que sua presença provocou certa oscilação na válvula de controle.

Tabela 2. Controladores dos três pontos de operação

Ponto de Operação	Modelo do Controlador	Parâmetros
10%	$\frac{0,7s + 0,0175}{s}$	$K_{c1} = 0,7$ $T_{i1} = 40$
45%	$\frac{1,1s + 0,0169}{s}$	$K_{c2} = 1,1$ $T_{i2} = 65$
80%	$\frac{2,8s + 0,035}{s}$	$K_{c3} = 2,8$ $T_{i3} = 80$

Estes não são os controladores propriamente ditos, pois fisicamente, o controle é feito com apenas um controlador. Utilizando um servidor OPC (*OLE for Process Control*) entre a planta e o *Matlab*, implementou-se uma formulação matemática que, utilizando-se dos valores dos parâmetros dos três controladores encontrados, obtém como resultado os parâmetros K_c e T_i do controlador localizado na planta, conectado à rede *fieldbus* conforme mostra a figura 3. A figura 4 ilustra um trecho do programa criado em *Matlab* para obter os parâmetros do controlador final, onde n equivale ao valor do nível em percentagem, K_{cx} e T_{ix} aos parâmetros de cada ponto de operação e K_c e T_i aos valores finais dos parâmetros do controlador PID.

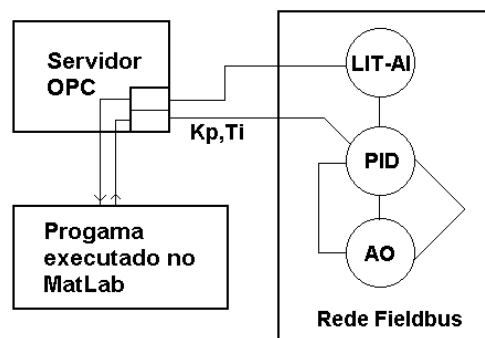


Figura 3 – Esquema de Controle

```

%-----%
% Declaracao dos Parametros dos PID's %
%-----%

% PID1 - ponto de operação de 10% %
Kc1=.65;
Ti1=49;
% PID2 - ponto de operação de 45% %
Kc2=1.3;
Ti2=90;
% PID3 - ponto de operação de 80% %
Kc3=2.5;
Ti3=100;

%-----%
% Definição das Funções de Ponderação - Lógica Difusa %
%-----%

fp1=(-1/35)*n+(45/35);
fp2=(1/35)*n-(10/35);
fp3=(-1/35)*n+(80/35);
fp4=(1/35)*n-(45/35);

%-----%
% Definição dos Valores Finais para os Parâmetros do PID %
%-----%

if (n<10)
    Kc=Kc1;
    Ti=Ti1;
elseif (n>=10 & n<45)
    Kc=fp1*Kc1+fp2*Kc2;
    Ti=fp1*Ti1+fp2*Ti2;
elseif (n>=45 & n<80)
    Kc=fp3*Kc2+fp4*Kc3;
    Ti=fp3*Ti2+fp4*Ti3;
elseif (n>=80),
    Kc=Kc3;
    Ti=Ti3;
end

```

Figura 4 – Código do controlador em *Matlab*

Traduzindo o código em palavras, primeiramente definem-se os parâmetros dos controladores referentes a cada ponto de operação, calculam-se os fatores de ponderação a partir do valor do nível, para então se utilizar desses valores no cálculo dos parâmetros finais do controlador.

6. Resultados da Aplicação

De posse dos parâmetros correspondentes a cada faixa e das regras da lógica difusa, colocou-se então o trabalho em prática sobre a planta.

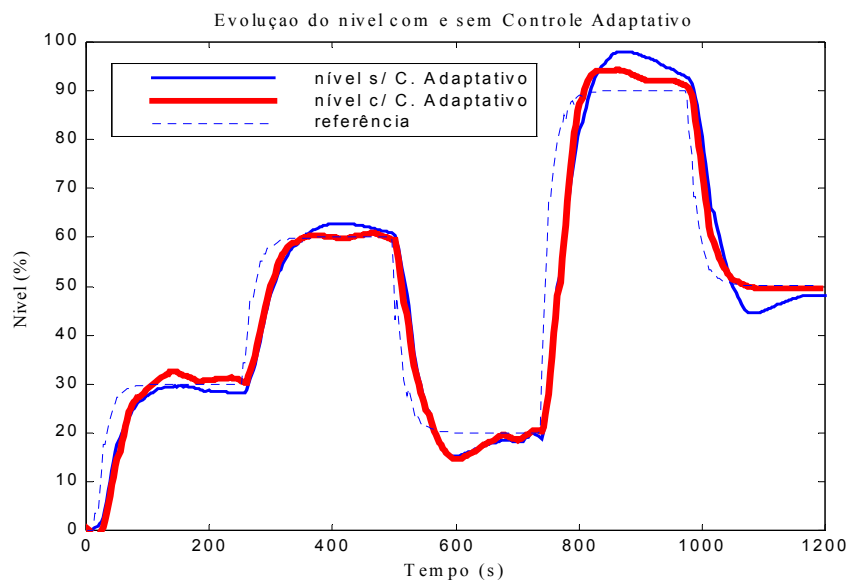


Figura 5 – Comparação dos Controladores

Foi realizado um ensaio onde se variou o valor do nível desejado de forma a cobrir valores das três faixas de operação, com o objetivo de analisar o comportamento do controlador ao longo de todo o sistema. Com o objetivo de justificar a utilização do controlador adaptativo proposto no presente trabalho, fez-se também um segundo ensaio utilizando um controlador com parâmetros constantes, com valores de K_c e T_i iguais ao do controlador do ponto de operação 45%, por se tratar de um valor médio. Para efeito de comparação, os gráficos com as evoluções ao longo do tempo do nível atual para o controlador adaptativo e para o controlador com parâmetros constantes, assim como o valor da referência, estão na Figura 5. A análise da Figura mostra que a resposta do sistema com controle adaptativo conseguiu seguir as mudanças de referência com maior facilidade que no sistema sem controle adaptativo. Outra característica que explicita a melhor adequação do controlador proposto é que, no sistema controlado com parâmetros constantes, houve um maior sobre-passo de referência.

7. Conclusões

Ao longo do trabalho foi apresentado um método de compensação de não linearidades utilizando controle adaptativo, para sintonizar os parâmetros do controlador de acordo com modificações no comportamento do sistema; lógica difusa, para amenizar a transição entre as diferentes faixas de operação; rede *fieldbus*, por se tratar de uma tecnologia revolucionária na automação industrial; e um servidor de comunicação entre planta e o PC, para possibilitar a utilização de técnicas de controle mais avançadas, que não poderiam ser desempenhadas pela rede por si só. Em uma comparação com um controlador médio para toda a faixa do sistema, a técnica de controle proposta mostrou-se de grande utilidade no controle de sistemas não-lineares, presentes em vários setores da indústria de petróleo e gás, tanto em *upstream* quanto em *downstream*. Um desenvolvimento futuro é a criação de um sistema de identificação *on-line* que, encontrando um modelo para sistema em tempo real, adapta o controlador para se comportar de forma otimizada na faixa de operação atual. Outra alternativa a ser investigada é a aplicação do método em uma malha externa de um controle em Cascata onde o controle adaptativo rodando no controle supervisão forneceria os *set-points* para o controle de vazão rodando no nível H1 da rede *Fieldbus*.

8. Agradecimentos

Os autores agradecem à Agência Nacional do Petróleo (ANP) pelo fomento fornecido ao PRH-34, ao Departamento de Automação e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina, e aos professores Daniel Juan Pagano e Ubirajara Franco Moreno.

9. Referências

- PEDRYES, W. *Fuzzy Control and Fuzzy Systems*, Research Studies Press, second extend edition. 1993.
OGATA, K. *Engenharia de Controle Moderno*. Rio de Janeiro: Prentice Hall, 1982.
BROSILOW, C., JOSEPH, B., *Techniques of Model-Based Control*. Prentice Hall International Series in the Physical and Chemical Engineering Sciences, 2001.