

Controle Fuzzy

Alessandro Copetti

e-mail: alessandro.copetti@gmail.com

Luciano Bertini

e-mail: lbartini@id.uff.br

Tópicos

3
2 Controle Fuzzy

3
2 Respostas do Controle

3
2 Exemplo

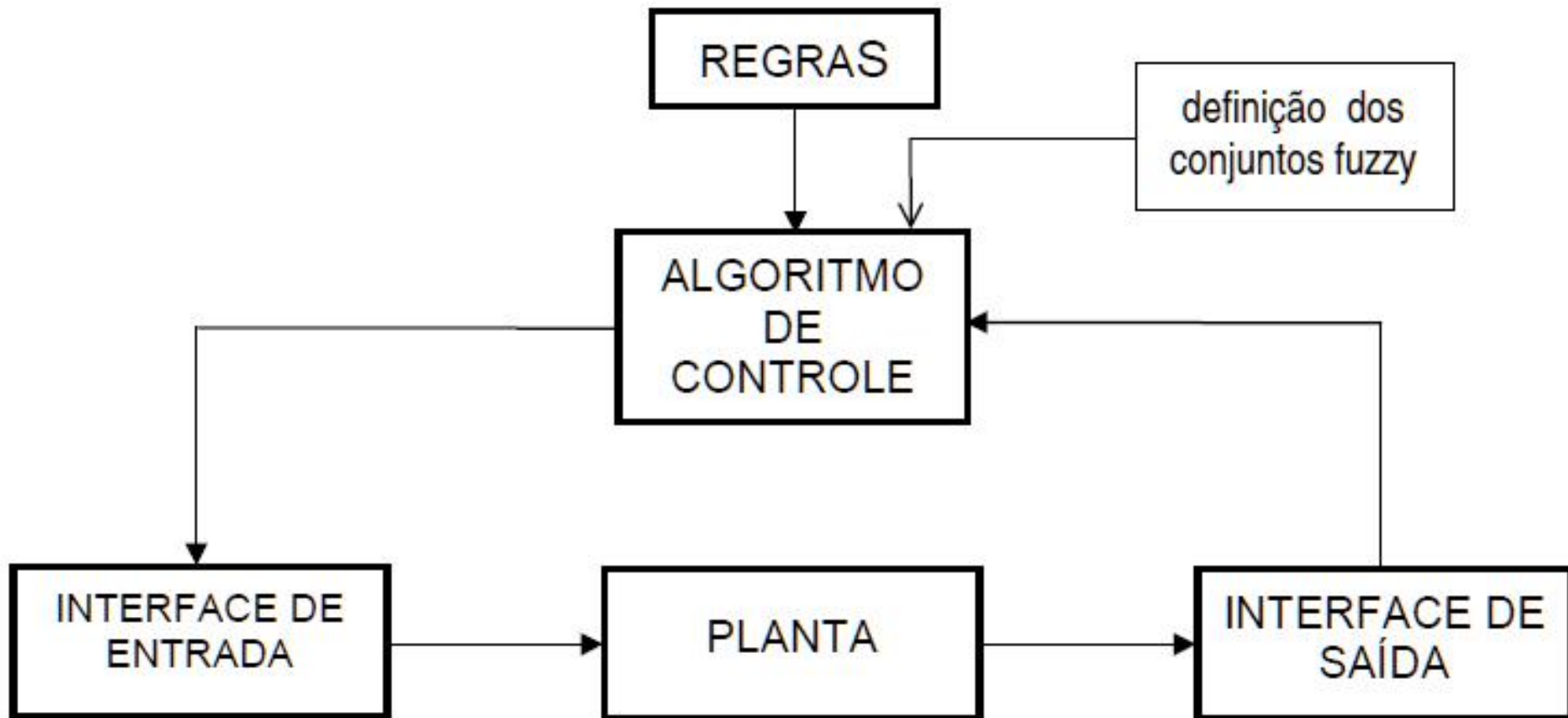
Controle Fuzzy

- ❧ O controle Fuzzy é uma função não-linear entre as variáveis de entrada e de saída que reflete os conhecimentos que os operadores e/ou engenheiros possuem da operação deste processo
 - ❧ Um regulador fuzzy é um sistema de controle baseado em regras que interpolam suavemente o comportamento desejado para o sistema
-

Controle Fuzzy

- ⌘ Aproxima o entendimento humano do problema com a computação do mesmo (aplicação do conhecimento tácito)
 - ⌘ No controle fuzzy, pode ser aplicado no treinamento de operadores aprendizes
 - ⌘ Ao combinar a Teoria Fuzzy com Algoritmos Genéticos ou Redes Neurais, a desvantagem do número de parâmetros a sintonizar pode ser mitigada
-

Controle Fuzzy



Controle Fuzzy

Interface de saída $\Rightarrow$ adquire informações (precisas) a respeito da planta e as traduz para a linguagem de conjuntos fuzzy

compreende:

- conversores A/D e D/A

- fatores de escala

- procedimentos de quantização

Controle Fuzzy

Interface de entrada $\Rightarrow$ converte a saída fuzzy do controlador para um valor preciso a ser fornecido à planta

Compreende:

- métodos de defuzzificação
- fatores de escala
- integradores
- conversores

Controle Fuzzy - Componentes

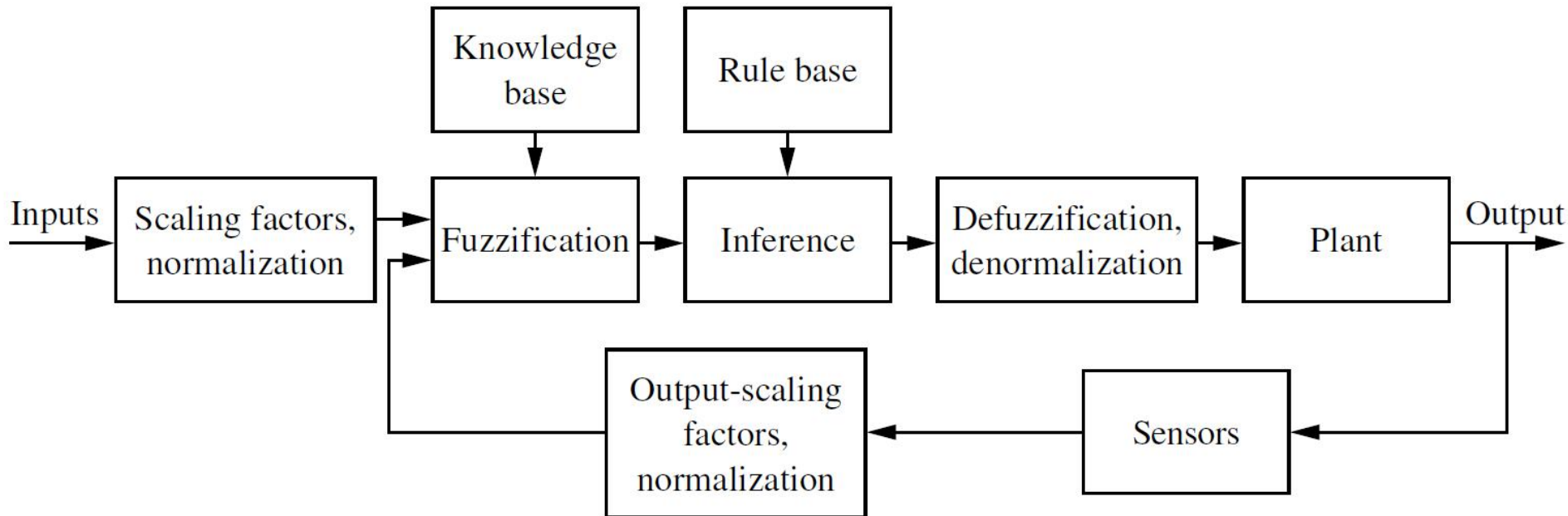


Diagrama de blocos Controlador Fuzzy

Controlador Fuzzy - Etapas para criação ^{-1/2}

- 1 Identificar as variáveis (entradas, estados e saídas) da planta
 - 2 Particionar o universo de discurso ou o intervalo gerado por cada uma das variáveis em um número de subconjuntos fuzzy, atribuindo a cada um rótulo linguístico
 - 3 Determinar uma função de pertinência para cada subconjunto
 - 4 Atribuir um relacionamento fuzzy entre os subconjuntos fuzzy das entradas ou dos estados de um lado, e os subconjuntos fuzzy das saídas de outro, assim formando a base de regras
-

Controlador Fuzzy - Etapas para criação -2/2

- Escolher os fatores de escala apropriados para as variáveis de entrada e saída, a fim de normalizar as variáveis para os intervalos: $[0, 1]$ ou $[-1, 1]$
 - Fuzzificar as entradas para o controlador
 - Usar o raciocínio aproximado para inferir a saída de cada regra
 - Agregar as saídas fuzzy recomendadas por cada regra
 - Aplicar a defuzzificação para gerar uma saída precisa
-

Controlador Fuzzy - Definição das funções de pertinência

- ❧ Um número muito grande de valores linguísticos
 - ❧ sobrecarrega o sistema
 - ❧ possibilita uma resposta e um ajuste mais fino do controle

Base de conhecimento

⌘ Métodos para aquisição do conhecimento:

⌘ obtenção manual

⌘ modelagem do comportamento do operador

⌘ modelagem do processo

⌘ extração automática do conhecimento

Base de conhecimento – obtenção manual

⌘ Problemas:

- ⌘ a seleção e a disponibilidade de um especialista competente na área
 - ⌘ a capacidade de explicitar o raciocínio do especialista
 - ⌘ normalmente fornece a solução do problema, mas não as etapas utilizadas para se chegar a essa conclusão
 - ⌘ as divergências e contradições eventuais entre os conhecimentos fornecidos por diversos operadores ou especialistas da área
-
- ⌘ a manutenção desses conhecimentos

Base de conhecimento

- ⌘ Modelagem do comportamento do operador
 - ⌘ adquire conhecimento observando o operador durante o seu trabalho
 - ⌘ Modelagem do processo
 - ⌘ utiliza um modelo do processo para construir o controlador
 - ⌘ em seguida, constrói um conjunto de regras através de uma heurística a partir do modelo
-

Base de conhecimento

- ⌘ Extração automática do conhecimento
 - ⌘ utilizada quando se dispõe de uma grande quantidade de dados relativos ao problema
 - ⌘ técnicas utilizadas: neuro-fuzzy, algoritmos genéticos e auto-aprendizagem
-

Base de conhecimento - regras

- ⌘ Regras de controle fuzzy são de fácil compreensão pelo pessoal de manutenção, na medida em que são baseadas no senso comum, e o efeito ou resultado de cada regra pode ser facilmente interpretado
 - ⌘ inclusão de condições de alarme que disparam raramente
- ⌘ Todas as funções de controle associadas com uma regra podem ser testadas individualmente. Isso aumenta a facilidade de manutenção, porque a simplicidade das regras permite o uso de pessoal menos treinado

Controlador Fuzzy - Definição das funções de pertinência

Exemplo:

PG: positiva grande (PL ou PB)

PM: positiva média (PM)

PP: positiva pequena (PS)

Z: zero (ZE)

NP: negativa pequena (NS)

NM: negativa média (NM)

NG: negativa grande (NL ou NB)

Respostas do Controle

Respostas do Controle

- ⌘ Na grande maioria dos casos é utilizada a estratégia de controle realimentado
 - ⌘ o valor de uma variável controlada (var de processo) é medido com um sensor e comparado ao valor desejado (setpoint)
 - ⌘ a diferença encontrada entre o setpoint e a variável controlada determina um erro
 - ⌘ e é utilizada na definição da saída do controlador para ajustar uma variável manipulada (saída do controlador)

Respostas do Controle

❧ Objetivo: minimizar o erro (diferença entre a saída real e a referência)

❧ Parâmetros de Projeto

❧ Regime Transitório

❧ tempo de subida

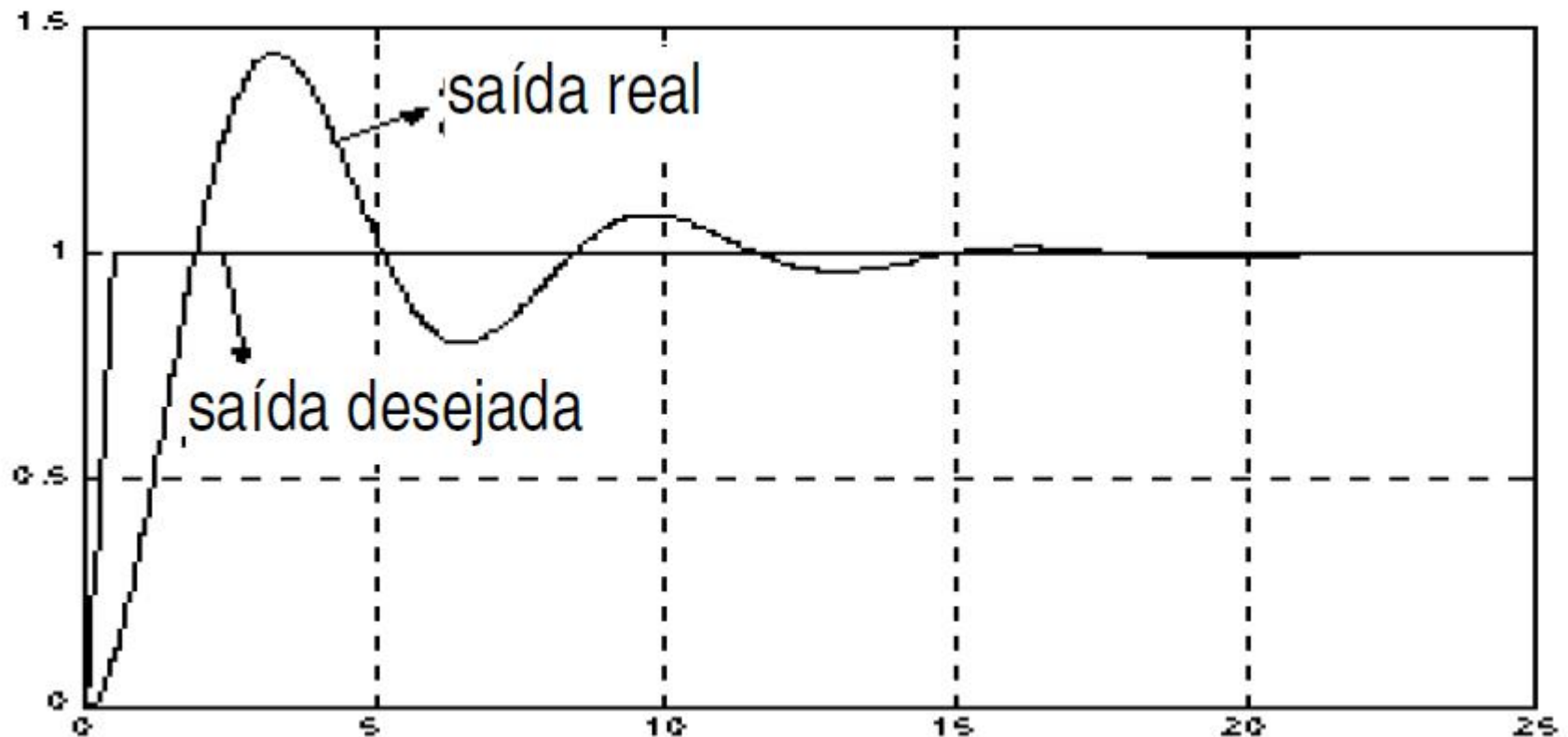
❧ percentual de overshoot

❧ tempo de acomodação

❧ Regime Permanente

❧ erro (*steady state offset*)

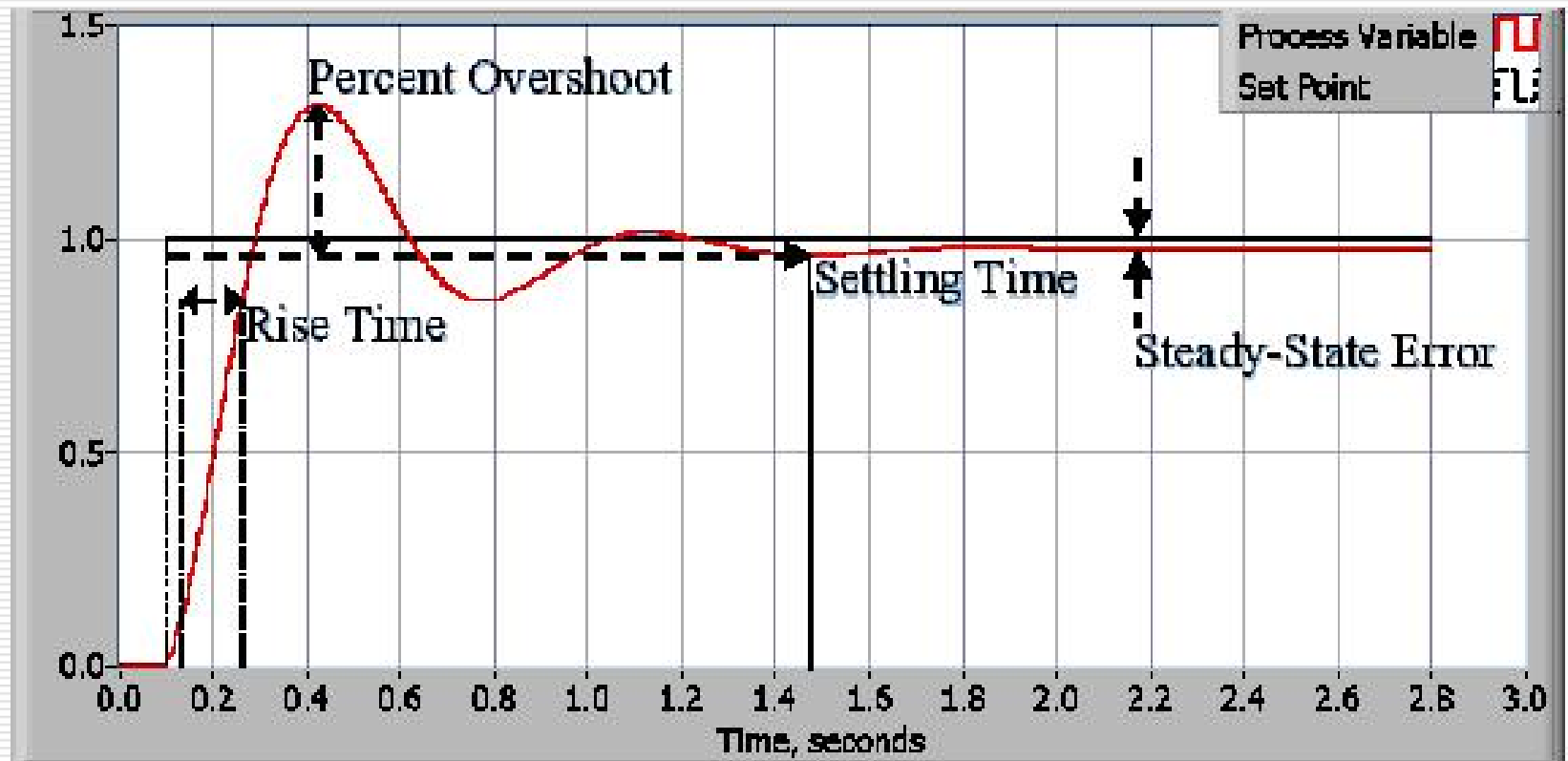
Respostas do Controle – resposta típica



Respostas do Controle

- ⌘ O **tempo de subida** é o tempo que o sistema leva para ir de 10% a 90% do estado estacionário, ou valor final.
- ⌘ O percentual de **Overshoot** é o valor que a variável de processo ultrapassa o valor final, expresso como uma porcentagem do valor final
- ⌘ **Settling time** é o tempo necessário para a variável do processo chegar dentro de uma determinada porcentagem (normalmente 5%) do valor final
- ⌘ **Steady-State** de erro é a diferença final entre as variáveis do processo e o set point

Respostas do Controle

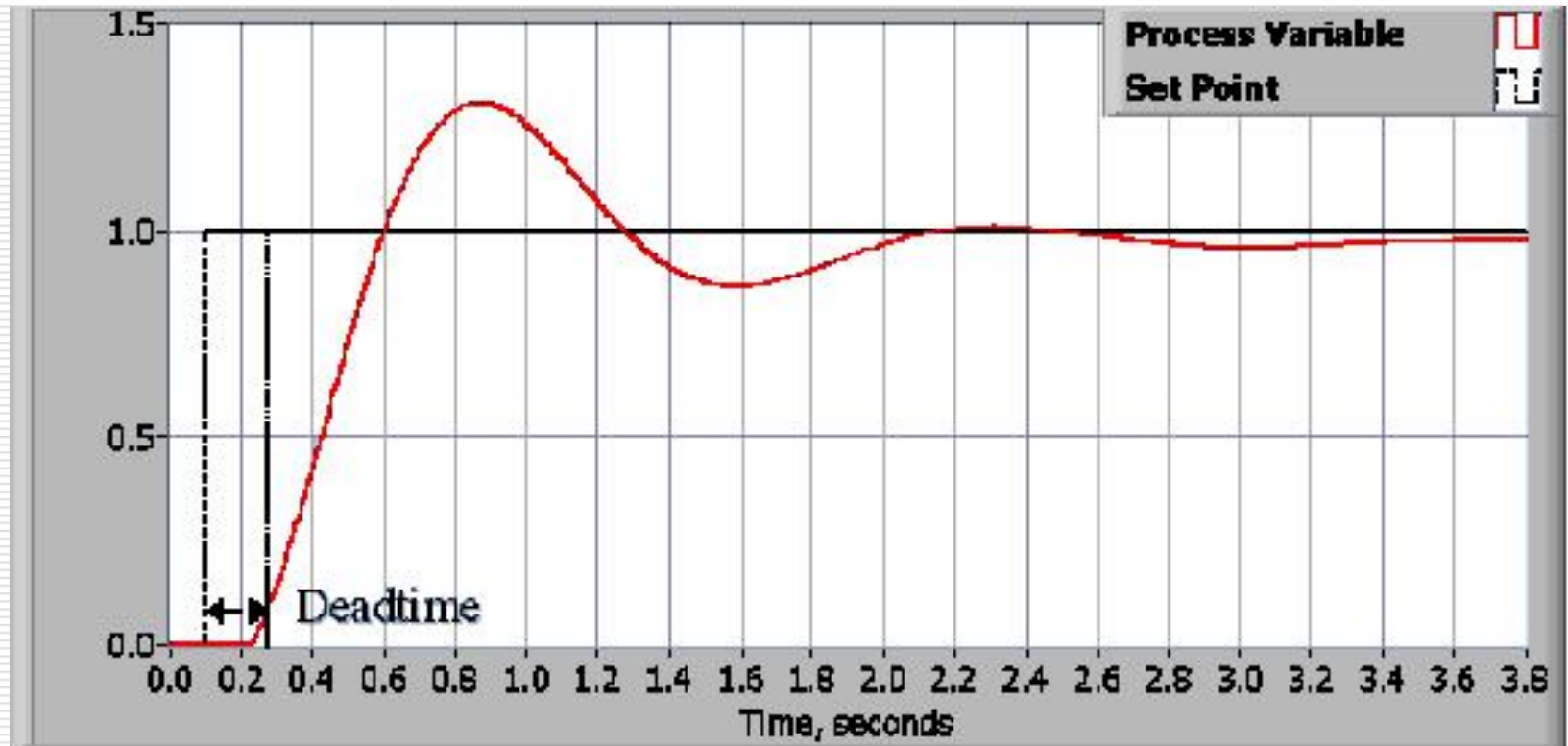


Respostas do Controle – Deadtime (tempo morto)

⌘ Atraso entre o momento que ocorre uma mudança da variável de processo e quando essa mudança pode ser observada. Por exemplo:

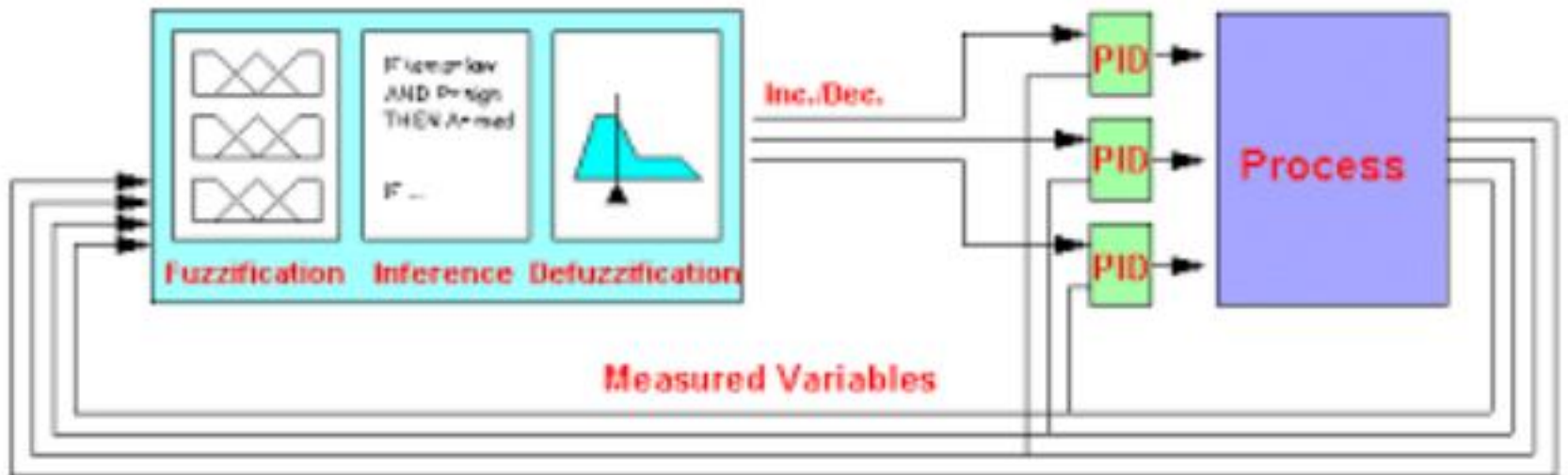
- ⌘ um sensor de temperatura colocado longe de uma válvula de entrada de água fria não irá medir a mudança da temperatura imediatamente se a válvula for aberta/fechada
- ⌘ uma válvula lenta para abrir ou fechar
- ⌘ atraso causado pelo fluxo do fluido através de tubulações

Respostas do Controle – Deadtime (tempo morto)

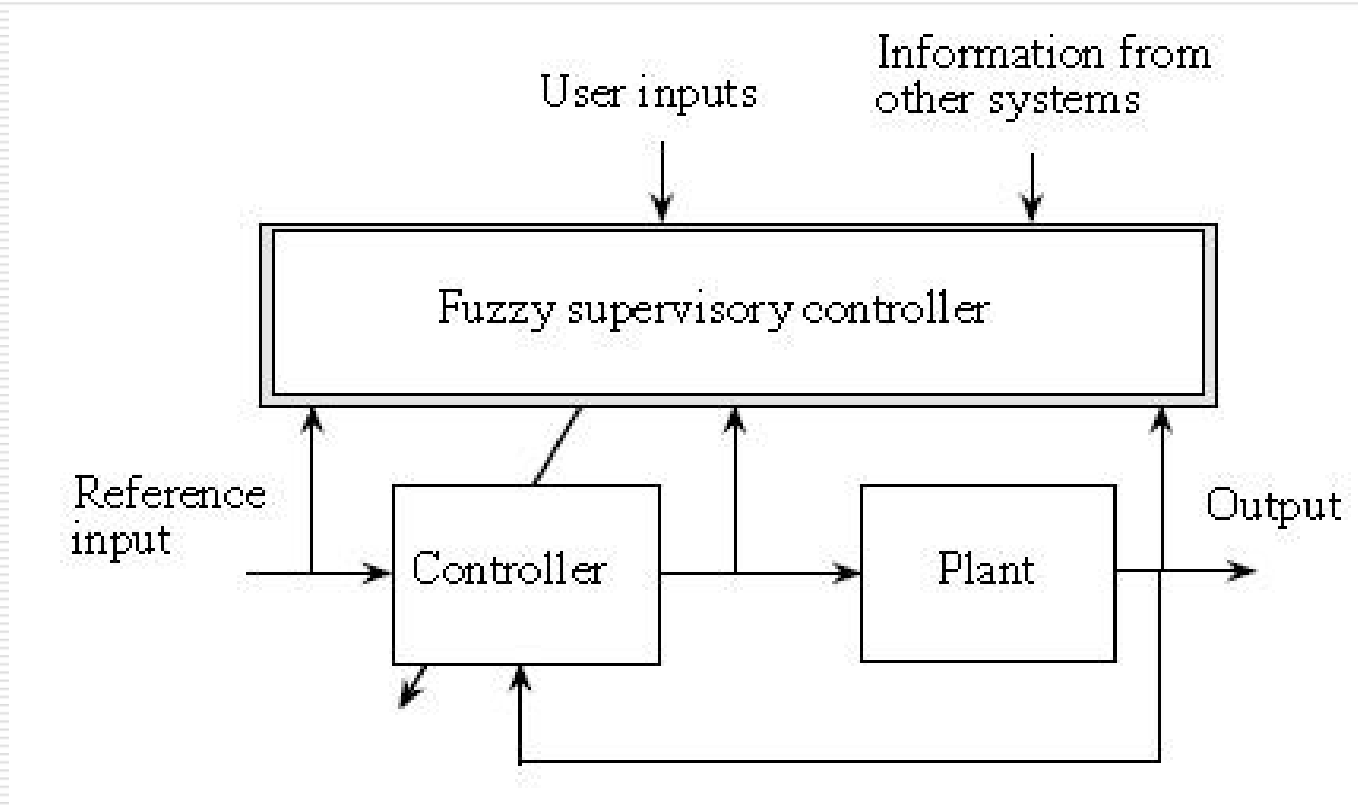


Sistema supervisorio de controle

- Aplicado geralmente para controlar o valor de referência (set-point) de controladores PID



Sistema supervisorio de controle



Sistema supervisorio de controle

- É um tipo de sistema especialista que monitora as variáveis de interesse para o processo e, com o conhecimento obtido com os especialistas para construção do conjunto de regras, compara com os valores de referência
- Atua em um nível superior, assumindo momentaneamente controle da planta até retornar as condições normais de processo

Variáveis de controle

- ⌘ As variáveis de entrada são usualmente:
 - ⌘ o **erro**, gerado a partir da diferença entre o sinal de referência e a saída das planta, e a
 - ⌘ **variação do erro**, normalmente gerada a partir do erro
 - ⌘ é necessário utilizar **fatores de escala** para fazer corresponder, aos valores reais e medidos do erro e variação do erro, valores normalizados
-

Processos complexos

⌘ Processos complexos

⌘ não-linearidades

⌘ instabilidade

⌘ tempo morto elevado

⌘ comportamento não estacionário

⌘ presença de perturbações

⌘ acoplamento entre as variáveis

⌘ O controlador Fuzzy não necessita de um modelo analítico completo do processo

Critérios de Desempenho

⌘ Avalia a resposta do sistema de controle e também ajusta constantes no PID

1. Integral of Square Error (ISE).

$$\text{ISE} = \int_0^{\infty} [e(t)]^2 dt$$

2. Integral of the Absolute value of the Error (IAE).

$$\text{IAE} = \int_0^{\infty} |e(t)| dt$$

3. Integral of the Time multiplied by the Absolute value of the Error (ITAE).

$$\text{ITAE} = \int_0^{\infty} t |e(t)| dt$$

Exemplo

Aplicação exemplo

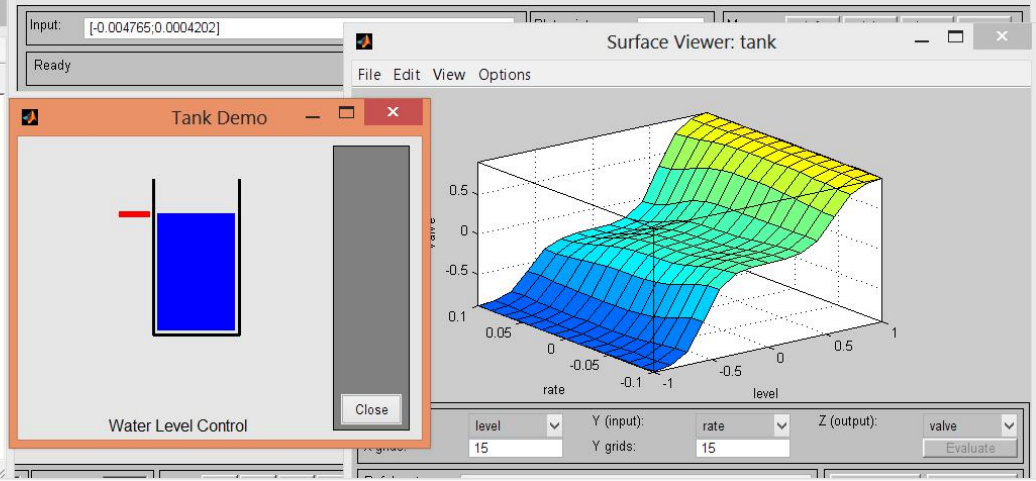
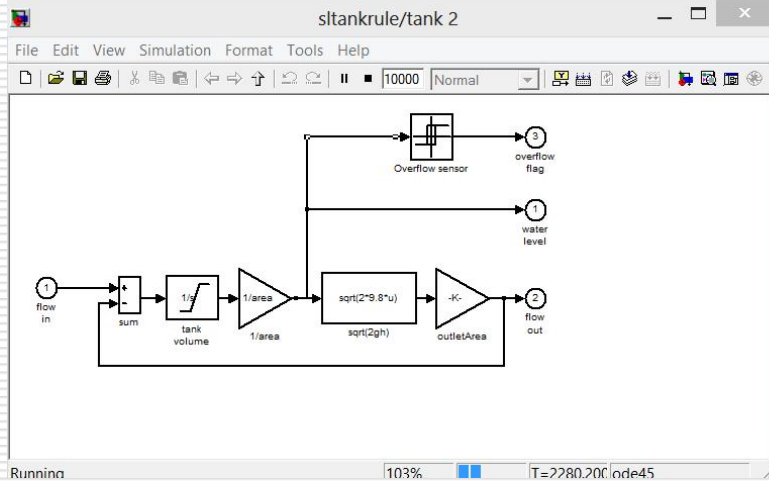
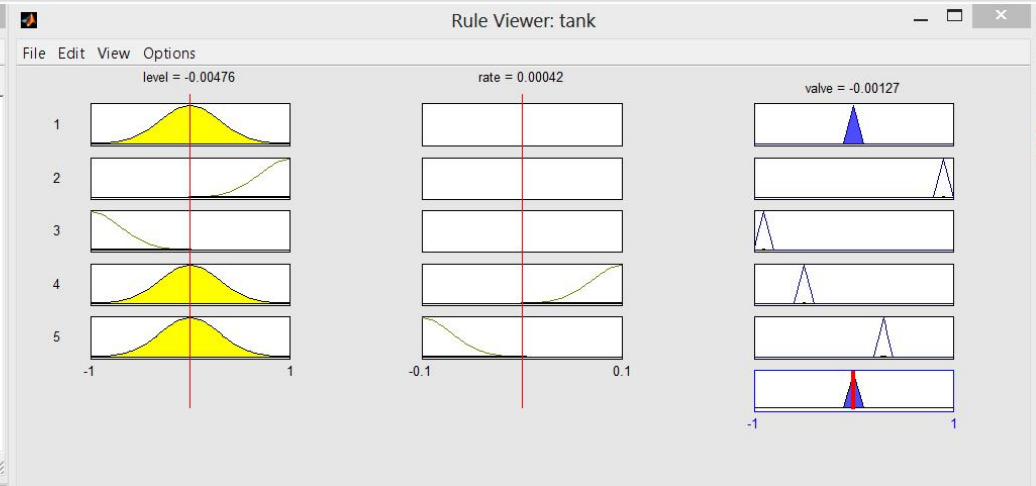
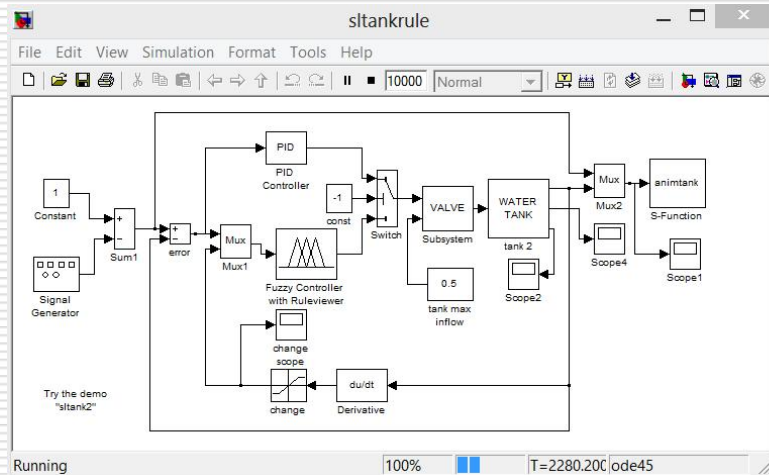
🌀 Water Level Control in a Tank. By MathWorks

🌀 comandos: *sltankrule* e *fuzzy tank.fis*

🌀 https://www.youtube.com/watch?v=Jbh3oEsI3_E

🌀 Objetivo: obter uma resposta do sistema a uma entrada em degrau para verificar a eficácia dos dois controladores, fuzzy e PID.

Exemplo Matlab – Controle de Nível num Tanque



Aplicação exemplo - Variáveis

❧ variáveis de entrada:

❧ *level* [-1 1] 3 mf (membership functions) gaussianas

❧ erro entre o nível medido e o set point

❧ *rate* [-0,1 0,1] 3 mf gaussianas

❧ variação do nível

❧ se estiver subindo é positivo e se estiver negativo está descendo

❧ variável de saída:

❧ *valve* [-1 1] 5 mf triangulares

Aplicação exemplo - Regras

- 3 nível alto acima do set point, fecha a válvula rápido
 - 3 nível baixo abaixo do set point, abre a válvula rápido
 - 3 nível normal e nível abaixo do set point e descendo (rate is negative, quer dizer que o nível está descendo), válvula fecha devagar
 - 3 nível normal e nível acima do set point e subindo (rate is positive, quer dizer que o nível está subindo), válvula abre devagar
-

Aplicação exemplo – teste

Exemplo no ‘rule viewer’

nível em 1 e rate em -0.06

aciona saída valve 0.89 (abre válvula rápido)

nível em 0.5 e rate em -0.09

valve 0.15 (abre devagar)

Referências

- 3 National Instruments. **Explicando a Teoria PID**. 2011
- 3 Fernando Mariano Bayer, Olinto César Bassi de Araújo. **Controle Automático de Processos**. Colégio Técnico Industrial de Santa Maria. 2011
- 3 Simões, Marcelo Godoy, and Shaw, Ian S. **Controle e Modelagem Fuzzy**. Blucher, 2 ed. 2007.
- 3 Grupo de Inteligência Computacional Aplicada. PUC Rio. Disponível no site da disciplina: ICA-LN-
Controladores Fuzzy.pdf

Referências

- 3 Ross, T. J., **Fuzzy Logic With Engineering Applications**, 3 ed., John Wiley and Sons, 2010.
- 3 CAMPOS, Mario Massa de; SAITO, Kaku. **Sistemas inteligentes em controle e automação de processos**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2004. xii, 235 p.
- 3 Ricardo Tanscheit. **Fundamentos de lógica fuzzy e controle fuzzy**. DEE-PUC-Rio. Notas de aula. 2007

Referências

- Passino, Kevin M., Stephen Yurkovich, and Michael Reinfrank. **Fuzzy control**. Vol. 20. Menlo Park, CA: Addison-wesley, 1998.
- WEINER, V.; MORATORI, P.; MASSA, M. C. M.; BERTINI, L.; COPETTI, A. **Controle supervisório fuzzy aplicado ao processo de separação e tratamento de óleo e água em uma plataforma de petróleo**. Congresso Brasileiro de Automática, Vitória, 2016.
- Castillo, Oscar, and Patricia Melin. **A review on interval type-2 fuzzy logic applications in intelligent control**. Information Sciences 279 (2014): 615-631.

Referências

- 3 Yi Cao,
2007. <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/17287-simulink-library--performance-index>