

LAB3

Controle nebuloso

3.1 Objetivo

Esta experiência tem por objetivo a familiarização com a técnica de Controle Nebuloso (*Fuzzy Control*, em inglês). Para isso será contruído um controlador de posição para o servomecanismo do laboratório.

3.2 Fundamentos teóricos

3.2.1 Introdução

Os fundamentos da teoria de conjuntos nebulosos foram apresentadas pela primeira vez em 1965 pelo Prof. L.A. Zadeh no artigo (Zad65). Essa teoria permite que informação imprecisa, qualitativa possa ser expressa e manipulada através de um formalismo matemático. Como seu nome sugere, ela apresenta uma generalização do conceito tradicional de conjunto (Ton77).

O nosso interesse aqui é apresentar algumas noções básicas do assunto com a perspectiva de utilização em sistemas de controle. Contudo, são inúmeras as áreas atualmente em que a tal teoria tem sido aplicada, dentre as quais podem ser citadas: reconhecimento de imagem, reconhecimentos de voz, sistemas especialistas (incluindo-se aqui sistemas de apoio à decisão, diagnóstico médico, etc.), aplicações na área de negócios, etc. (Ter94).

3.2.2 Fundamentos de Lógica Nebulosa

Na teoria clássica de conjuntos, um dado elemento ou pertence ou não pertence a um dado conjunto. Não há uma graduação de pertinência. Assim, por exemplo, se considerarmos o conjunto dos homens, certamente o elemento Dorotéia (qualquer que seja a personalidade que você possa estar imaginando para ela) não pertence a ele; em contrapartida, é consensual que o elemento Maguila pertence ao conjunto.

Neste caso, se designarmos com X o *universo de discurso* (ou *conjunto de suporte*), e por A um subconjunto de X , podemos definir uma *função característica* $\chi_A: A \rightarrow \{0;1\}$ da seguinte forma:

$$\chi_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x \notin A \\ 1 & \text{se } x \in A \end{cases} \quad (3.1)$$

Há muitas situações, contudo, em que esse caráter binário da pertinência não se verifica. Assim por exemplo, consideremos a qualidade de *ser alto* e definamos, como subconjunto do conjunto X de todas as pessoas (*universo de discurso*), o conjunto A das pessoas altas. Então, um dado indivíduo $x \in X$ com 1,75m de altura poderia ser classificado como “mais ou menos alto” e, portanto, poderíamos pensar numa medida de pertinência contínua no intervalo $[0, 1]$.

Assim, caracteriza-se um *conjunto nebuloso* A num *universo de discurso* X através de uma função de pertinência ou função de associação (*membership function*, em inglês) μ_A :

$$\mu_A: X \rightarrow [0, 1] \quad (3.2)$$

No caso do exemplo acima, poderíamos considerar a função de pertinência representada na Figura 3.1.

O indivíduo teria, então, um grau de associação ao conjunto fuzzy X das pessoas altas:

$$\mu_A(1,75) = 0,3. \quad (3.3)$$

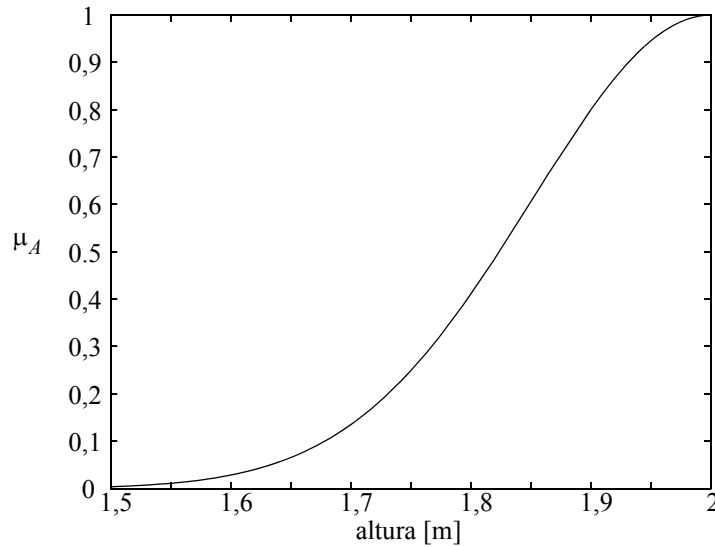


Figura 3.1 Gráfico da função de pertinência

A escolha da função de pertinência envolve, em geral, um certo grau de subjetividade.

De maneira semelhante ao que se faz na teoria clássica de conjuntos, também no contexto nebuloso definem-se as operações de união, intersecção e complemento (Lob90).

Sejam A e B dois conjuntos nebulosos. A *união* entre A e B , que corresponde à operação " A ou B ", denotada por $A \cup B$ tem função de associação

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \}. \quad (3.4)$$

A *intersecção* entre A e B , que corresponde à operação " A e B ", é denotada por $A \cap B$ e tem função de associação

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \}. \quad (3.5)$$

O *complemento* de A , que corresponde à operação "*não* A ", é denotado por $\neg A$ e tem função de associação

$$\mu_{\neg A}(x) = 1 - \mu_A(x). \quad (3.6)$$

3.2.3 Estrutura dos controladores nebulosos

Os controladores nebulosos têm a estrutura representada na Figura 3.2 (Arb96).

• Interface de nebulização

A interface de nebulização tem por funções: i) mudar as escalas das variáveis de entrada do controlador, normalizando-as de maneira a pertencerem aos universos de discurso dos conjuntos nebulosos correspondentes; ii) discretizar os valores numéricos das variáveis de entrada; iii) converter esses valores numéricos em valores lingüísticos associados aos conjuntos nebulosos.

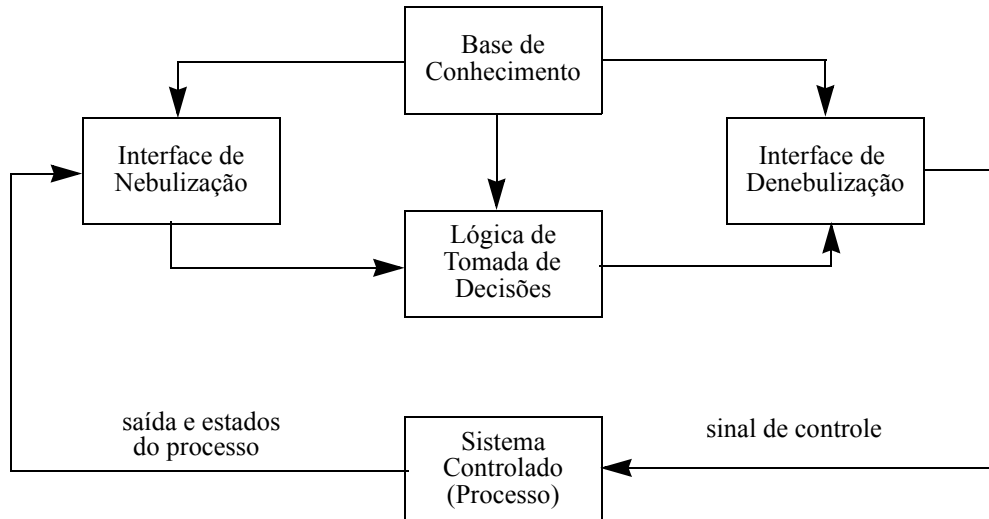


Figura 3.2 Estrutura dos controladores nebulosos

• Lógica de tomada de decisões

A lógica de tomada de decisões apoia-se numa base de conhecimento do comportamento do processo e dos objetivos de controle. Ela é representada através de um conjunto de regras de controle lingüísticas.

• Interface de denebulização

A interface de denebulização converte as variáveis nebulosas de saída do bloco da lógica de tomada de decisões em um valor numérico da variável de controle.

Um algoritmo nebuloso consiste em um conjunto de pares situação-ação¹. Regras condicionais escritas na forma “se <situação> então <ação>” são as mais comuns. Por exemplo, uma regra poderia ser “se a saída é substancialmente menor que o valor desejado e vem caindo moderadamente, então a entrada deve ser substancialmente aumentada”. Tal regra deve ser interpretada de modo a ser possível sua aplicação num algoritmo. Para isso, os seguintes termos são definidos:

erro (E)	= saída do processo - valor desejado
variação do erro (ΔE)	= erro atual - erro no passo anterior;
entrada (U)	= sinal de entrada aplicado ao processo.

Também é necessário quantificar os termos (inerentemente qualitativos), como abaixo:

GP	= grande positivo;
MP	= médio positivo;
PP	= pequeno positivo
ZE	= zero;
PN	= pequeno negativo;
MN	= médio negativo;
GN	= grande negativo.

Assim, a regra citada acima poderia ser reescrita como: “se E é GN e ΔE é PN, então U deve ser GP”.

Tendo formulado a regra com os termos acima, o próximo passo é definir as funções de associação dos conjuntos nebulosos GP, MP, etc. A forma da função é um tanto arbitraria e depende basicamente da preferên-

1. Deste ponto em diante, este texto contém cópias quase literais de trechos de (Lob90).

cia do frequê. Por simplicidade, funções trapezoidais e triangulares são as mais utilizadas (vide Figura 3.3)

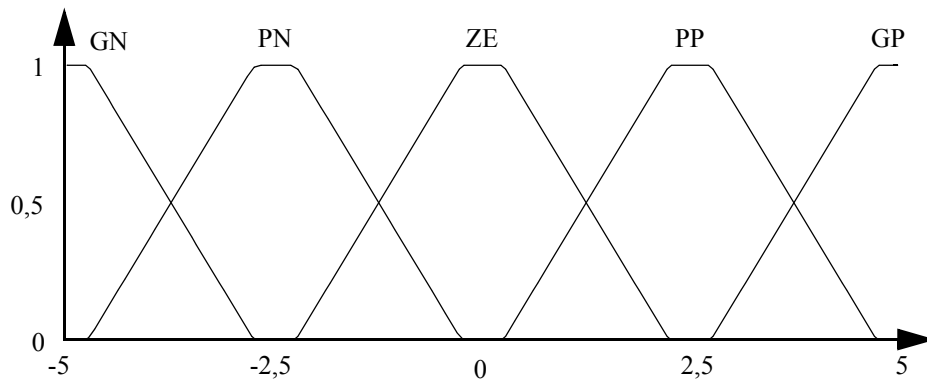


Figura 3.3 Funções de associação

Note que o valor 3,75 é, a um só tempo, PP com grau de associação 0,5 e GP com o mesmo grau (por extensão ele também é GN, PN e ZE com grau de associação 0).

Suponhamos então que quatro regras tenham sido formuladas por um operador experiente para o controle de um dado sistema, a saber:

- REGRA 1: Se E é ZE e ΔE é PP, então U deve ser PN;

ou

- REGRA 2: Se E é ZE e ΔE é ZE, então U deve ser ZE;

ou

- REGRA 3: Se E é PN e ΔE é PN, então U deve ser PP;

ou

- REGRA 4: Se E é PN e ΔE é ZE, então U deve ser GP.

Note que cada regra apresenta um conectivo “e”, caracterizando-se uma operação de intersecção entre conjuntos nebulosos; além disso, entre as regras há um conectivo “ou”, indicando operações de união.

Estas regras são então combinadas para formar a tabela de decisão do controlador nebuloso. Para ilustrar a construção da tabela de decisão, utilizam-se funções de associação trapezoidais e considera-se que o processo, num certo instante, apresente um erro de -0,75V e uma variação do erro de +1,2V. É imediato verificar que nessa situação as regras 1, 2 e 4 geram graus de associação não nulos (vide Figura 3.4).

O cálculo de U pode ser realizado de diversas maneiras (veja a Figura 3.4), como, por exemplo:

- tomando-se o valor máximo dentre aqueles correspondentes às regras validas (no caso, $U = 0,56$, o que fornece um valor do controle de 0 unidades (veja o centro da base do trapézio correspondente à regra 2 na Figura 3.4);
- calculando-se o centro de gravidade das áreas dos trapézios correspondentes às regras válidas o que, no caso, fornece:

$$U = \frac{0,43 \times (-2,5) + 0,56 \times 0 + 0 \times 2,5 + 0,34 \times 5}{0,43 + 0,56 + 0 + 0,34} = 0,4699 \quad (3.7)$$

O controlador nebuloso pode ser implementado através de um programa computacional que execute os passos apresentados acima em tempo real, caso isso seja possível, ou então através de uma tabela (chamada de

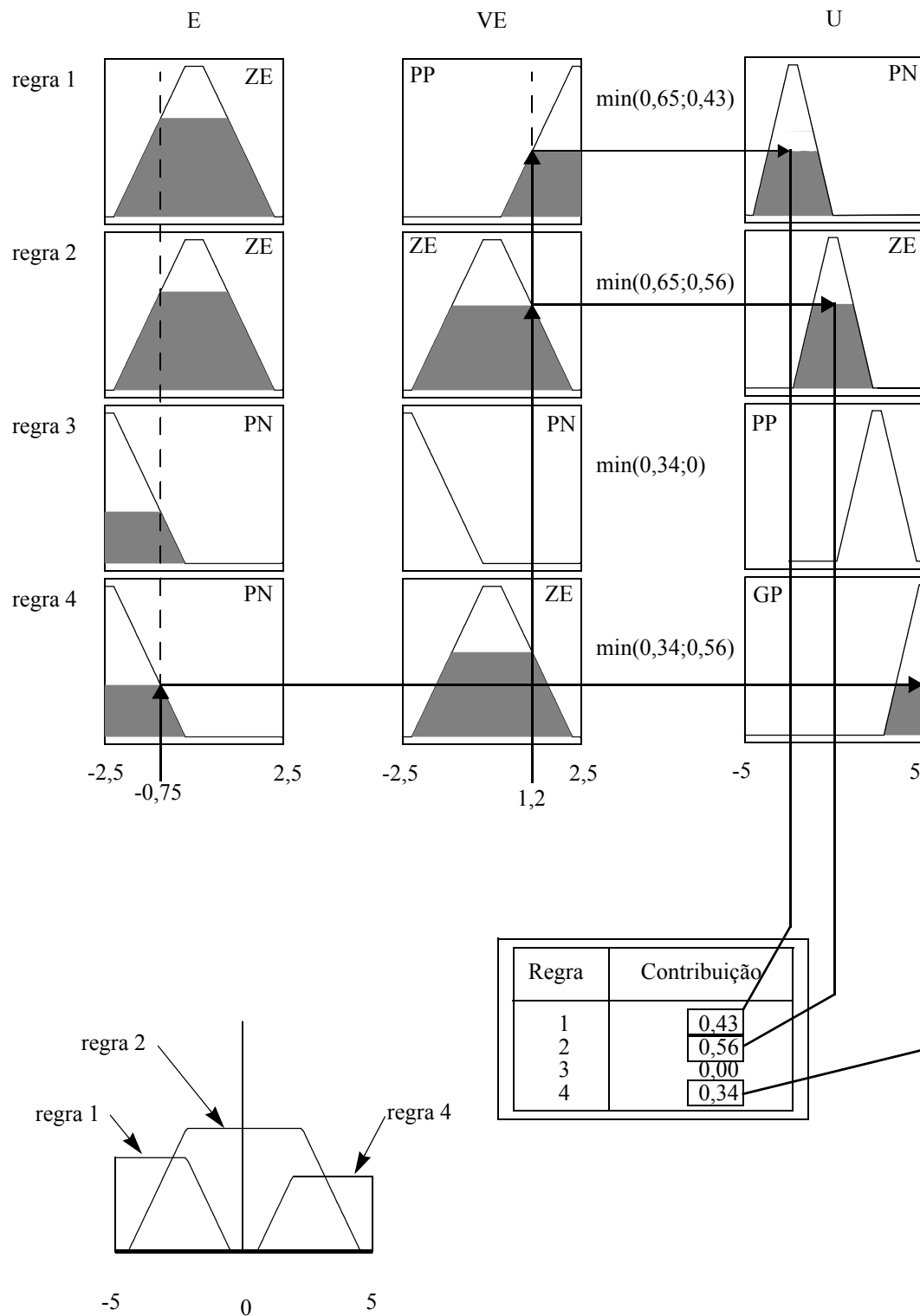


Figura 3.4 Exemplo de cálculo de U para $(E, \Delta E)$

tabela de decisão ou *tabela de procura*) em que os valores de U são pré-calculados para cada um dos possíveis pares $(E, \Delta E)$.

Neste caso, em cada instante de amostragem, calcula-se o erro e sua variação e o valor de U é extraído diretamente da tabela através de uma busca.

Esta segunda forma de implementação tem a vantagem de ser mais rápida. Ela é indicada para utilização após o controlador ter sido ajustado e um desempenho satisfatório do sistema em malha fechada ter sido

conseguido.

A primeira forma é a mais indicada durante a fase de ajuste do controlador, em que, em geral, se realizam experimentos com diversas regras de controle, quantizações, formas de funções de associação, etc.

3.3 Atividades

- a) Escreva uma rotina de controle nebuloso para o servomecanismo do laboratório.

SUGESTÃO: Utilize o conjunto de regras de controle da Tabela 3.5..

	Erro							
Variação do Erro		GN	MN	PN	ZE	PP	MP	GP
	GN	GP		MP		PP	PN	
	MN			MP	PP	ZE	MN	
	PN				ZE	MN	GN	
	ZE			PP				
	PP	MP	ZE	PN				
	MP	PP	PN	MN				
	GP							

Tabela 3.5 Regras de controle para o servomecanismo

- b) Implemente a rotina e registre a resposta a degrau do sistema. Considere como saída a tensão do potenciômetro que mede a posição do eixo do servomecanismo.
- c) Verifique a capacidade do controlador de rejeitar perturbações repetindo o passo anterior, porém com o freio eletromagnético aplicado ao servo.
- d) Faça experimentos, por exemplo variando a frequência de amostragem e as regras da Tabela 3.5.

3.4 Relatório

Um relatório desta experiência deverá ser entregue.

3.5 Problemas e dúvidas frequentes

- a) **O erro como definido aqui é o inverso da definição usual.**
Note que o sinal de erro foi definido como “saída da planta - setpoint”.
- b) **Qual frequência de amostragem devo usar?**
A que você achar melhor. Note que uma frequência de amostragem muito alta fará com que o sinal “variação do erro” fique sempre muito pequeno ou nulo, fazendo com que apenas as linhas PN, ZE e PP (ou num caso extremo apenas a linha ZE) da Tabela 3.5 sejam empregadas.
- c) **Eu não me lembro como ligar o servomecanismo.**
Veja a Figura 3.6.

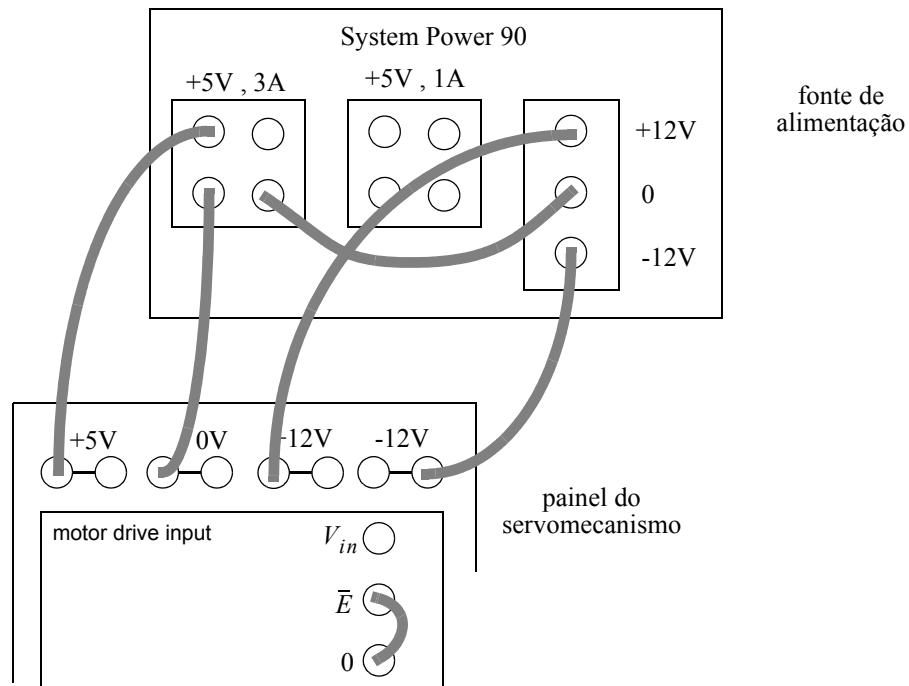


Figura 3.6 Ligação da fonte de alimentação ao servomecanismo

3.6 Referências bibliográficas

- (Arb96) Arbex, RT. Um ambiente para Desenvolvimento de Controladores Fuzzy. Dissertação de Mestrado, EPUSP, 1996.
- (Lob90) Lobo, L.S.; Bergeman, M. Controle Difuso Aplicado a Servomecanismo. Projeto de Formatura, Área de Automação e Controle, EPUSP, 1990.
- (Ter94) Terano, T.; Asai, K.; Sugeno, M. Applied Fuzzy Systems. AP Professional, Cambridge, MA, 1994.
- (Ton77) Tong, R.M. "A Control Engineering Review of Fuzzy Systems". Automatica, Vol, 13, pp. 559-569, 1977.
- (Zad65) Zadeh, L.A. "Fuzzy Sets". Information and Control, Vol. 8, N0. 3, pp.338-353, 1965

