



SISTEMAS INTELIGENTES

Prática 10 – Sistemas de Inferência Fuzzy (Modelo Takagi-Sugeno)

Ivan Nunes da Silva



Objetivos da Aula

- Fixar a teoria sobre os Sistemas de Inferência Fuzzy do tipo Takagi-Sugeno vista na aula teórica.
- Introduzir os principais componentes do modelo de Takagi-Sugeno disponível no Toolbox de Sistemas Fuzzy.
- Implementar soluções inteligentes para problemas envolvendo Automação de Processos.



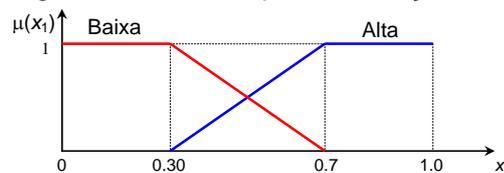
Definição de Problema Prático (I)

- Para a confecção de um sistema de injeção eletrônica de combustível em motores de automóveis, observou-se que o desempenho da válvula de injeção representada pela variável $\{y\}$, que mede o volume de combustível a ser injetado, pode ser estimada a partir da medição de três outras grandezas $\{x_1, x_2, x_3\}$.
- Entretanto, em função da complexidade do sistema, sabe-se que este mapeamento é de difícil obtenção por técnicas convencionais, sendo que o modelo matemático disponível para sua representação não fornece resultados satisfatórios.
- Assim, a equipe de engenheiros e cientistas pretende utilizar um sistema fuzzy, baseado no modelo de Takagi-Sugeno, para mapear o comportamento do processo, tendo-se como objetivo final de que dado como entrada os valores de $\{x_1, x_2, x_3\}$ o mesmo possa estimar o respectivo valor da variável $\{y\}$ que representa a quantidade de combustível a ser injetado.

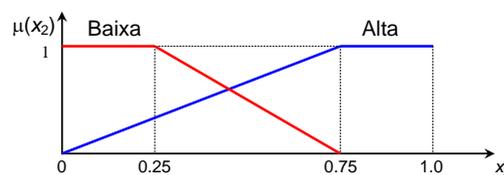


Definição de Problema Prático (II)

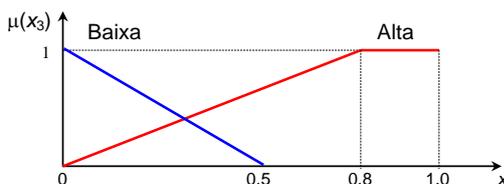
Baseado em considerações de especialistas, propôs-se então os seguintes formatos para as funções de pertinência de entrada:



Primeira Variável de Entrada $\{x_1\}$



Segunda Variável de Entrada $\{x_2\}$



Terceira Variável de Entrada $\{x_3\}$



Especificação das Regras Fuzzy

- Regra R1: Se x_1 é "Baixa" e x_2 é "Baixa" e x_3 é "Baixa" então $y_1(x_1, x_2, x_3)$
- Regra R2: Se x_1 é "Baixa" e x_2 é "Baixa" e x_3 é "Alta" então $y_2(x_1, x_2, x_3)$
- Regra R3: Se x_1 é "Baixa" e x_2 é "Alta" e x_3 é "Baixa" então $y_3(x_1, x_2, x_3)$
- Regra R4: Se x_1 é "Baixa" e x_2 é "Alta" e x_3 é "Alta" então $y_4(x_1, x_2, x_3)$
- Regra R5: Se x_1 é "Alta" e x_2 é "Baixa" e x_3 é "Baixa" então $y_5(x_1, x_2, x_3)$
- Regra R6: Se x_1 é "Alta" e x_2 é "Baixa" e x_3 é "Alta" então $y_6(x_1, x_2, x_3)$
- Regra R7: Se x_1 é "Alta" e x_2 é "Alta" e x_3 é "Baixa" então $y_7(x_1, x_2, x_3)$
- Regra R8: Se x_1 é "Alta" e x_2 é "Alta" e x_3 é "Alta" então $y_8(x_1, x_2, x_3)$

Implementação do Problema Prático {Parte I} (Aspectos da Função de Regressão)



- Baseada na sistemática estudada na sala de aula, deve-se então obter as funções de regressão y_i associadas a cada uma das possíveis regras, considerando-se aqui o domínio de ativação de cada uma das regras ativadas.
- Como o processo tem 3 variáveis de entrada, a função de regressão linear será então dada por:

$$y(x_1, x_2, x_3) = a.x_1 + b.x_2 + c.x_3 + d = a.x_1 + b.x_2 + c.x_3 + d.(+1)$$

- Para obter os coeficientes $\{a, b, c, d\}$, pode-se utilizar o comando para resolução de sistemas de equações lineares do Matlab, cuja sintaxe é dada por:

$$\mathbf{coef} = \mathbf{X} \setminus \mathbf{y}$$

- ❖ \mathbf{y} é o vetor contendo as respectivas saídas que foram medidas no sistema;
- ❖ \mathbf{X} é uma matriz em que cada linha é formada por vetores do tipo $[x_1 \ x_2 \ x_3 \ 1]$;
- ❖ "**coef**" é um vetor que conterà respectivamente os coeficientes da função de regressão, isto é, seus elementos corresponderão aos valores $[a \ b \ c \ d]$.

Implementação do Problema Prático {Parte II} (Obtenção dos Coeficientes de Regressão)



- Carregue a matriz de dados do processo armazenada no arquivo "dados.txt", atribuindo-a para a variável **M**. Utilize a seguinte instrução:

`M = load('nome_arquivo');` {Mostre **M** para conferência}

- Para cada regra do sistema (slide 5), obtenha as respectivas matrizes (advindas de **M**), as quais serão utilizadas para derivar os argumentos a ser usados na função de regressão. Como exemplo, para a regra **R1**, as linhas de **M** a compor a respectiva matriz **M1**, devem obedecer à seguinte restrição:

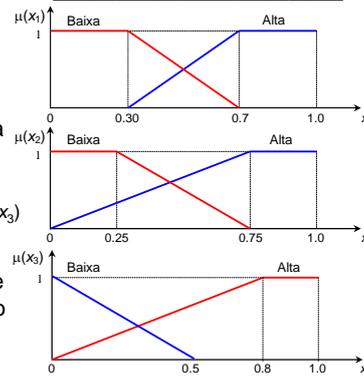
R1: Se x_1 é "Baixa" e x_2 é "Baixa" e x_3 é "Baixa" então $y_1(x_1, x_2, x_3)$

M1 → $(0 \leq x_1 < 0.7)$ e $(0 \leq x_2 < 0.75)$ e $(0 \leq x_3 < 0.5)$

- Em cada regra **R_i**, obtenha o vetor de coeficientes de regressão a partir da aplicação da função anterior. No caso de **M1**, a matriz **X1** é formada pelas suas 3 primeiras colunas + 1 coluna de elementos unitários, sendo **y1** o vetor advindo de sua última coluna:

coef1 = X1 \ y1

Amostra	x_1	x_2	x_3	y
1	0.8799	0.7998	0.3972	0.8399
2	0.5700	0.5111	0.2418	0.6258
3	0.6796	0.4117	0.3370	0.6622
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)



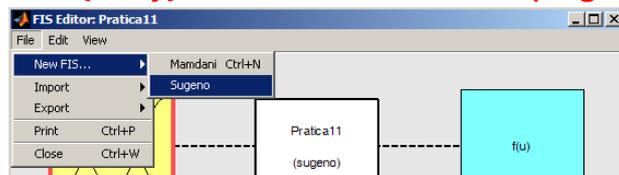
$X1 = \begin{bmatrix} 0.5700 & 0.5111 & 0.2418 & 1.0 \\ 0.6796 & 0.4117 & 0.3370 & 1.0 \\ \dots & \dots & \dots & 1.0 \end{bmatrix}$

7

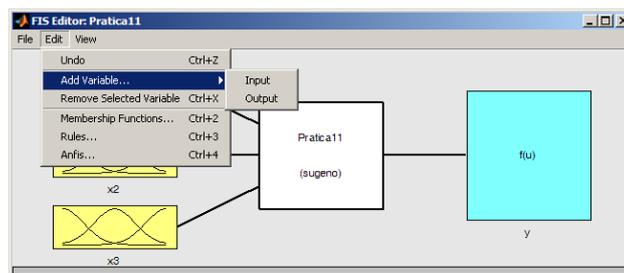
Implementação do Problema Prático {Parte III} (Adicionando as Variáveis de Entrada/Saída)



Abra a Toolbox {fuzzy} e selecione modelo TS (Sugeno).



Adicione 3 variáveis de Entrada {x1, x2, x3} e 1 de Saída {y}.



8

Implementação do Problema Prático {Parte IV} (Parametrizando o Modelo TS)



Defina os parâmetros do sistema conforme a ilustração.

The screenshot shows the FIS Editor interface for 'Pratica11'. It displays a rule diagram with three input variables (x1, x2, x3) connected to a rule box 'Pratica11 (sugeno)', which is connected to an output variable 'f(u)'. Below the diagram, the configuration panel shows the following settings:

- And method: min
- Or method: max
- Implication: min
- Aggregation: max
- Defuzzification: wtaver

Annotations on the left side of the image point to these settings:

- 'Conectivo "E" (Min)' points to the 'And method' dropdown.
- 'Conectivo "OU" (Max)' points to the 'Or method' dropdown.
- 'Método de Defuzzificação: média ponderada (wtaver)' points to the 'Defuzzification' dropdown.

Implementação do Problema Prático {Parte V} (Formatando as Variáveis de Entrada)



Formate os atributos de cada variável de Entrada conforme o slide 4.

The screenshot shows the Membership Function Editor for variable 'x1'. It displays a graph with two membership functions: 'Baixa' (black line) and 'Alta' (red line). The x-axis is labeled 'input variable "x1"' and ranges from 0 to 1. The y-axis represents membership degree from 0 to 1. The 'Alta' function is a trapezoidal membership function with parameters [0.3 0.7 1 1].

Below the graph, the configuration panel shows the following settings for the current membership function:

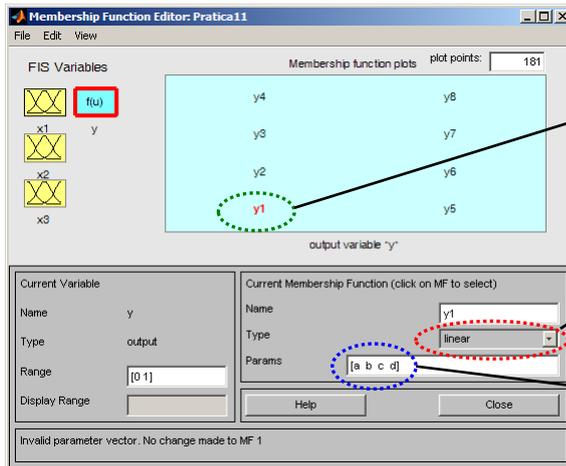
- Name: Alta
- Type: trapmf
- Params: [0.3 0.7 1 1]

At the bottom, a status bar indicates: 'Changing parameter for MF 2 to [0.3 0.7 1 1]'.

Implementação do Problema Prático {Parte VI} (Formatando as Variáveis de Saída)



Formate os atributos de cada variável de saída de acordo com os valores obtidos para as funções de regressão (slide 7), selecionando-se o tipo "linear".



Selecione a respectiva função de saída.

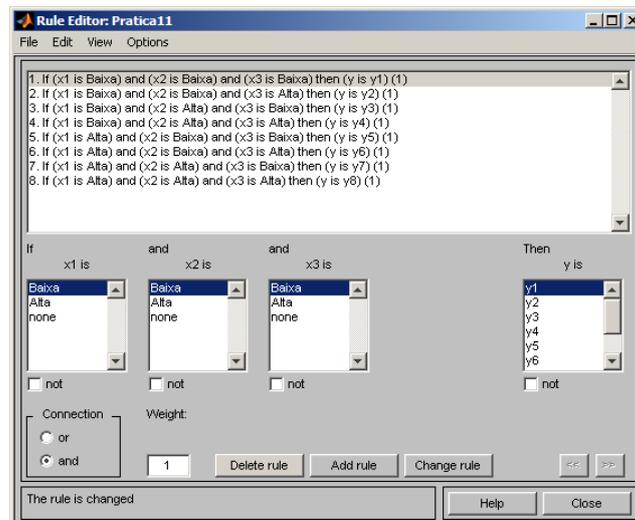
Selecione o tipo de função de saída → linear.

Atribua parâmetros para cada função de saída. Foram aqueles retornados pela função de regressão.

Implementação do Problema Prático {Parte VII} (Adicionando as Regras Linguísticas Fuzzy)



Insira todas as regras fuzzy de acordo com o slide 5 {Edit → Rules}.





Após a especificação estrutural de todo o problema, calcule então os valores retornados pelo sistema TS em relação aos seguintes valores das variáveis de entrada {View → Rules}:

Amostra	x_1	x_2	x_3	$y_{(Fuzzy)}$	$y_{(Desejado)}$	Erro Relativo (%)
1	0.1399	0.1610	0.2477		0.2872	
2	0.9430	0.4476	0.2648		0.6801	
3	0.0004	0.6916	0.5006		0.5074	
4	0.5102	0.7464	0.0860		0.5832	
5	0.061	0.2860	0.7464		0.4743	

Calcule ainda o erro relativo médio (%) e a respectiva variância.