



INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL

PROF. JOSENALDE OLIVEIRA

josenalde.oliveira@ufrn.br

<https://github.com/josenalde/ic>

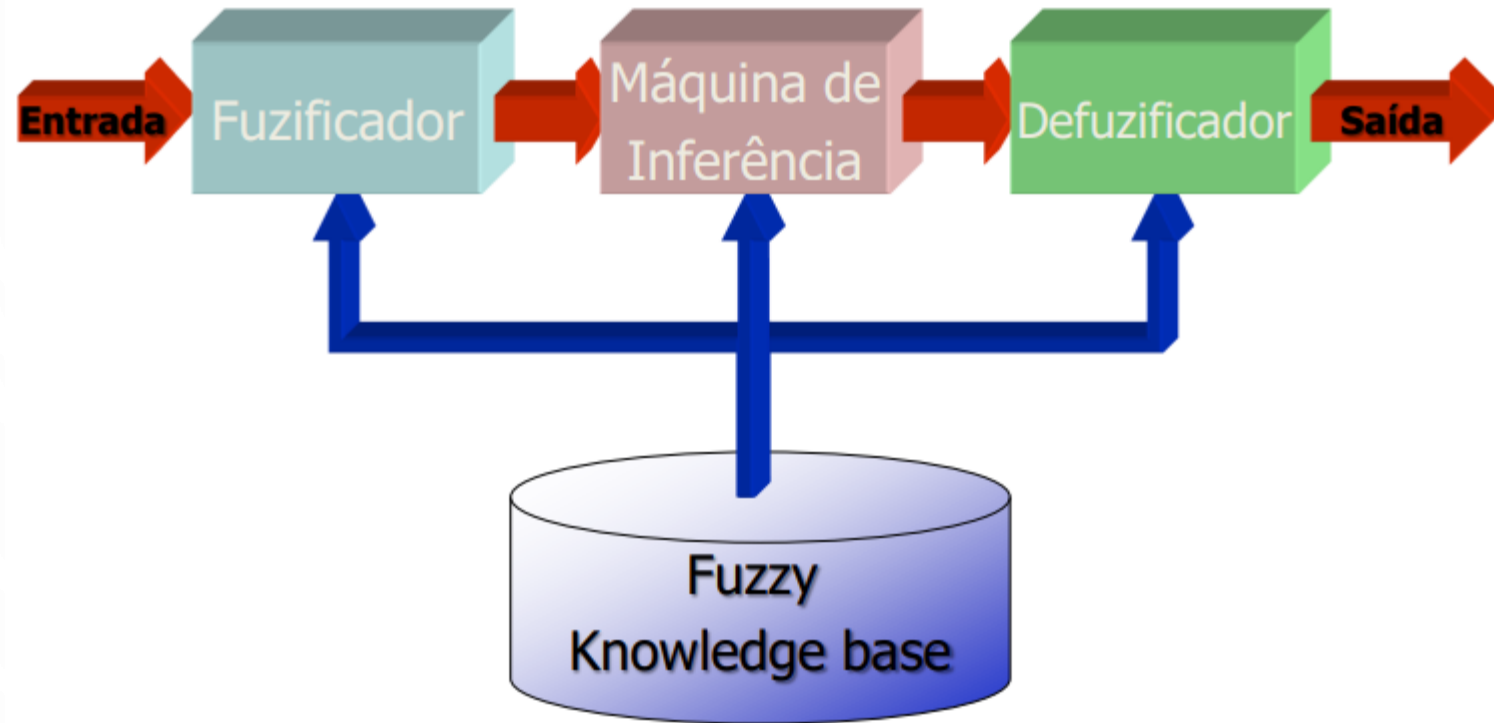
ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS - UFRN

SISTEMAS ESPECIALISTAS FUZZY

- *Modelo Mandani (inferência difusa)*
- Em 1975, o professor Ebrahim Mamdani, da Universidade de Londres construiu um dos primeiros sistemas fuzzy para controlar um motor a vapor em combinação com uma caldeira. Ele aplicou um conjunto de regras fuzzy fornecidos por operadores experientes.
- O processo de inferência fuzzy é realizada em quatro etapas:
1. Fuzificação das variáveis de entrada 2. Avaliação das regras (inferência) 3. Agregação das saídas das regras (composição) 4. Defuzificação

SISTEMAS ESPECIALISTAS FUZZY

- *Modelo Mandani (inferência difusa)*



SISTEMAS ESPECIALISTAS FUZZY

- *Sistema de Inferência Fuzzy (FIS)*
- Os passos de raciocínio aproximado (operações de inferência baseado em regras difusas SEENTÃO) realizada pelo FIS são:
 - 1. Comparar as variáveis de entrada com as funções de pertinência da parte antecedente para obter os valores dos graus de pertinência de cada variável linguística. (este passo é muitas vezes chamado fuzificação.)
 - 2. Combinar (geralmente multiplicação ou min ou max) os valores dos graus de pertinência na premissa para obter a “força de disparo” (grau de satisfação) de cada regra.
 - 3. Gerar os consequentes (ou fuzzy ou crisp) de cada regra, dependendo da “força de disparo”.
 - 4. Agregar os consequentes para produzir uma saída crisp. (Este passo é chamado de defuzificação.)

SISTEMAS ESPECIALISTAS FUZZY

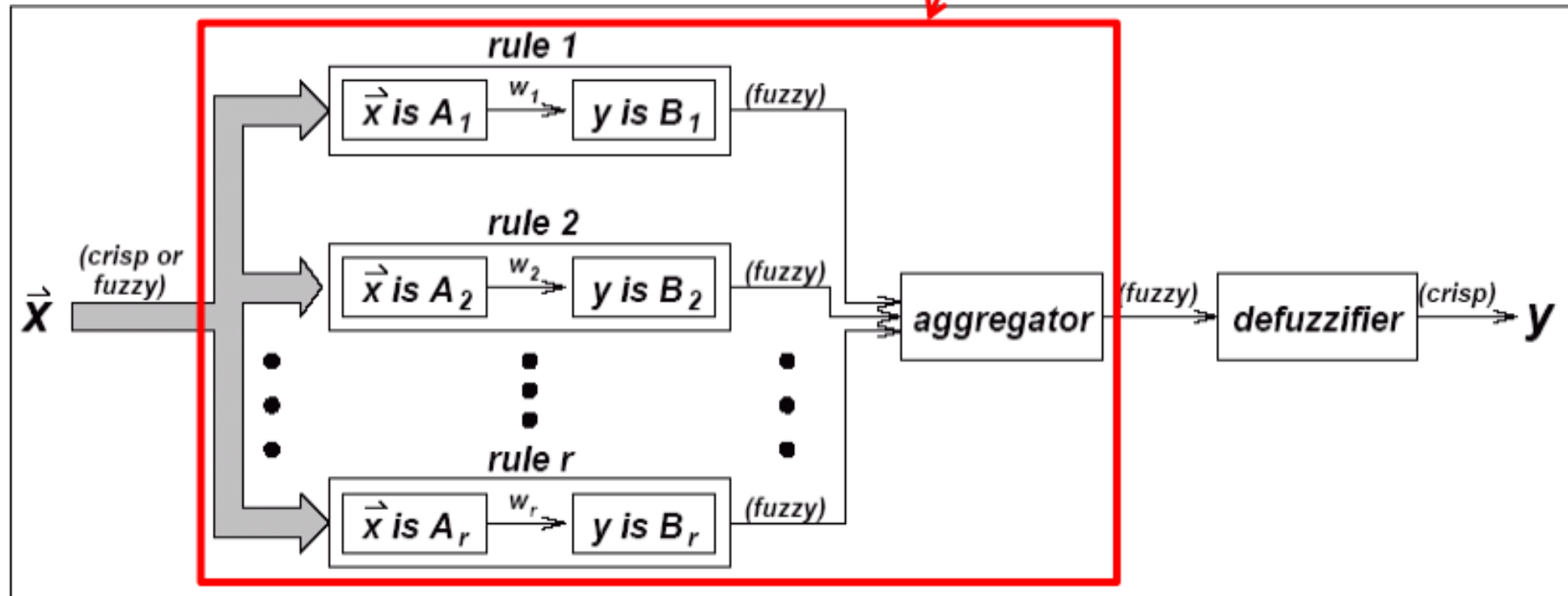
- *Sistema de Inferência Fuzzy (FIS)*
- A base de regras e o banco de dados são referenciados em conjunto como sendo a base de conhecimento.
- uma base de regras contém uma série de regras difusas SE-ENTÃO;
- um banco de dados define as funções de pertinência dos conjuntos difusos utilizados nas regras difusas.

SISTEMAS ESPECIALISTAS FUZZY

- A completude é uma propriedade de uma teoria lógica; um sistema formal é chamado de completo quando qualquer sentença verdadeira (V) pode ser deduzida do sistema. Uma base de regras difusas é completa se para qualquer valor de entrada existe uma saída com valor entre 0 e 1.
- Na lógica uma teoria consistente é uma que não contenha uma contradição. Um conjunto de regras difusas é inconsistente se duas regras com o mesmo antecedente possuem consequentes diferentes (conjuntos difusos diferentes).
$$\begin{array}{l} \text{SE } x \text{ é } A_1 \text{ e } y \text{ é } B_1 \text{ ENTÃO } z \text{ é } C_v : R_1 \\ \text{SE } x \text{ é } A_1 \text{ e } y \text{ é } B_1 \text{ ENTÃO } z \text{ é } C_x : R_2 \end{array}$$

MÁQUINA DE INFERÊNCIA FUZZY

Usando regras difusas do tipo SE-ENTÃO converte a entrada difusa para a saída difusa.

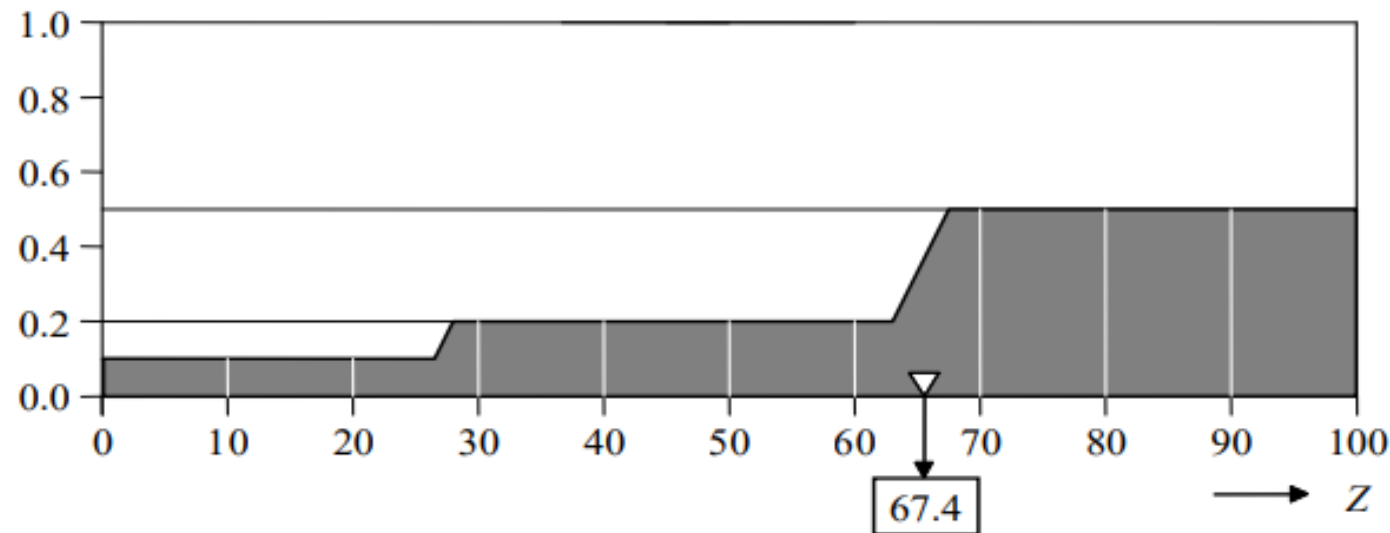


DEFUZZIFICAÇÃO MÉTODO CENTROIDE

Centro da Gravidade-CG – Exemplo

- O método de defuzzificação do CG encontra um ponto que representa o centro de gravidade do conjunto agregado difuso A, no intervalo [a, b].
- Uma estimativa razoável pode ser obtido através do cálculo sobre uma amostra de pontos.

Degree of Membership



$$CG = \frac{(0+10+20) \times 0.1 + (30+40+50+60) \times 0.2 + (70+80+90+100) \times 0.5}{0.1+0.1+0.1+0.2+0.2+0.2+0.2+0.5+0.5+0.5+0.5} = 67.4$$

DEFUZZIFICAÇÃO

Exemplo

Examinamos um problema de uma saída simples e duas entradas que inclui 3 regras:

Regra: 1 **SE** \underline{x} **é** $\underline{A_3}$ **OU** \underline{y} **é** $\underline{B_1}$ **ENTÃO** \underline{z} **é** $\underline{C_1}$

Regra: 2 **SE** \underline{x} **é** $\underline{A_2}$ **E** \underline{y} **é** $\underline{B_2}$ **ENTÃO** \underline{z} **é** $\underline{C_2}$

Regra: 3 **SE** \underline{x} **é** $\underline{A_1}$ **ENTÃO** \underline{z} **é** $\underline{C_3}$

Exemplo da vida real para esses tipos de regras:

Regra: 1 **SE** project_funding é adequado **OU** project_staffing é pequena, **ENTÃO** o risco é baixo.

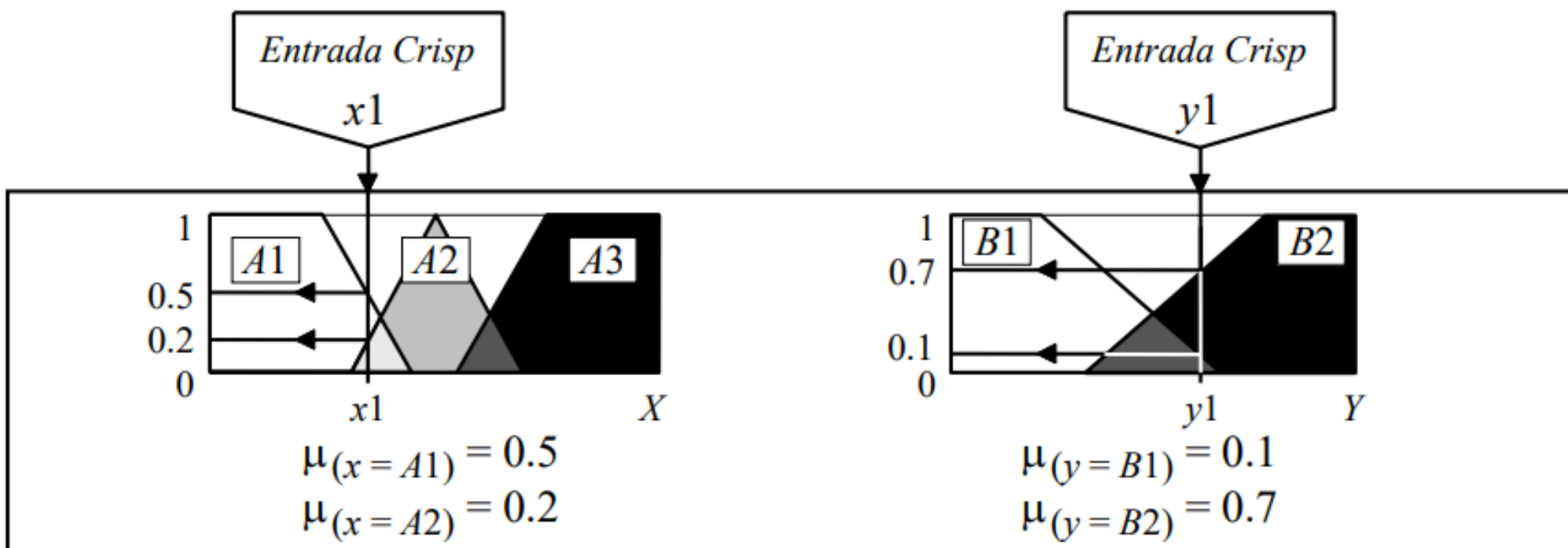
Regra: 2 **SE** project_funding é marginal **E** project_staffing é grande, **ENTÃO** o risco é normal.

Regra: 3 **SE** project_funding é inadequado **ENTÃO** risco é alto.

DEFUZZIFICAÇÃO

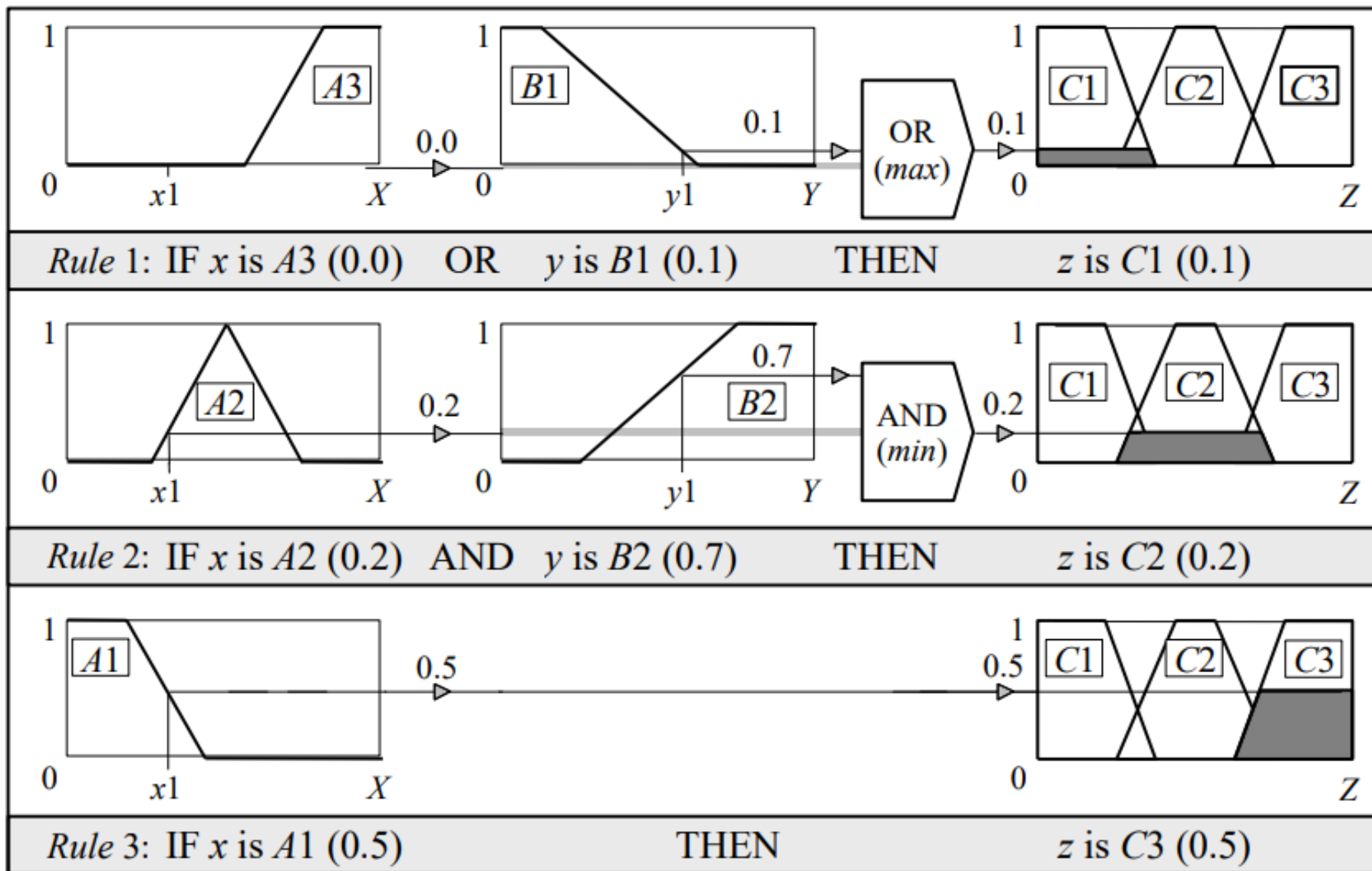
Passo 1: Fuzzificação

O primeiro passo é tomar as entradas crisp, x_1 e y_1 (financiamento do projeto e de pessoal do projeto), e determinar o grau com que essas entradas pertencem a cada um dos conjuntos fuzzy.



DEFUZZIFICAÇÃO

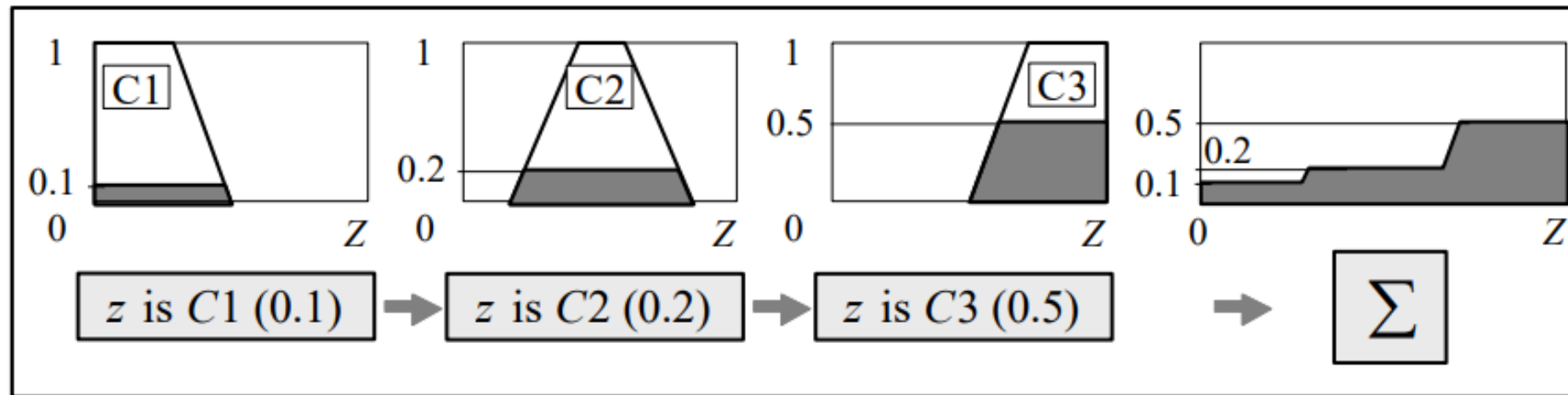
Passo 2: Avaliação das regras



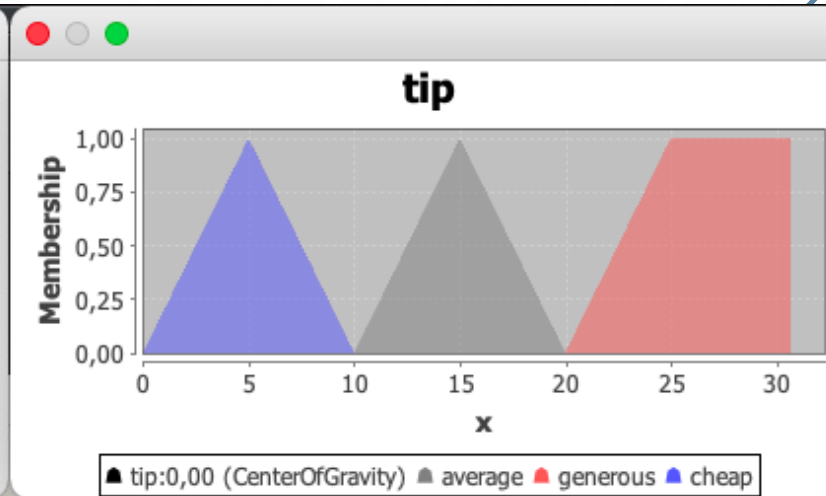
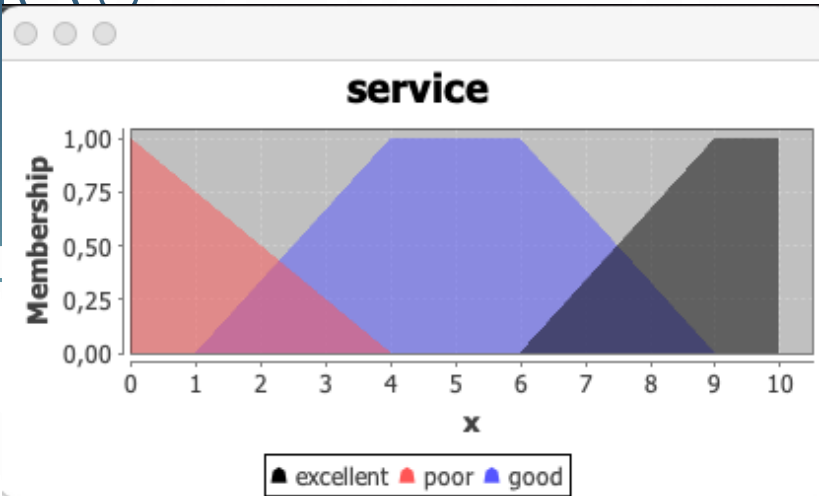
DEFUZZIFICAÇÃO

Passo 3: Agregação das saídas das regras

- A agregação é o processo de unificação das saídas de todas as regras.
- Tomamos as funções de pertinência de todos os consequentes das regras previamente cortadas ou escalonadas e combinamos num único conjunto difuso.
- A entrada do processo de agregação é a lista das funções de pertinência consequentes cortadas ou escalonadas, e a saída é um conjunto difuso para cada variável de saída.



EXEMPLO:



RULE 1 : IF service IS poor OR food IS rancid THEN tip IS cheap;
RULE 2 : IF service IS good THEN tip IS average;
RULE 3 : IF service IS excellent AND food IS delicious THEN tip IS generous;

Seja Food = 7 e Service = 3, qual a gorjeta (Tip?)

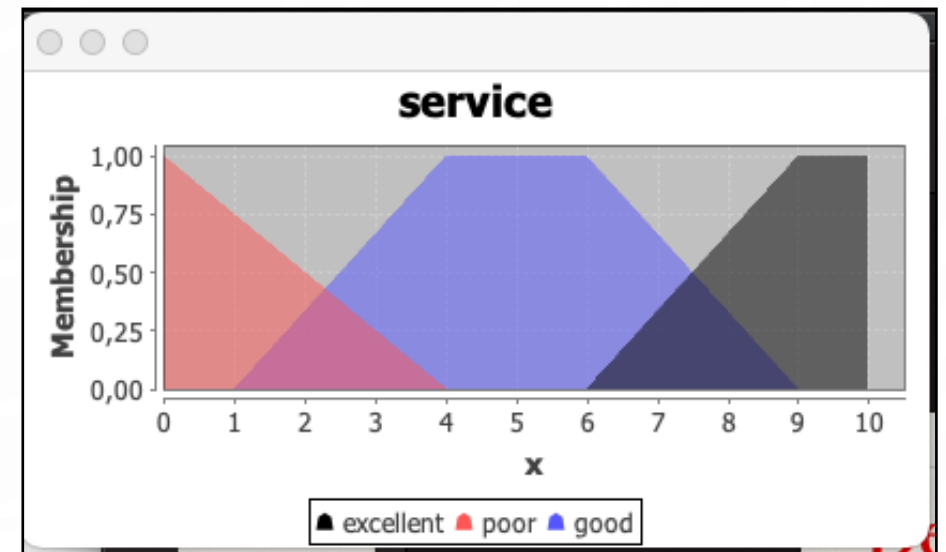
EXEMPLO:

- Service = 3
- Pertinência para os conjuntos da variável Service

$$\mu(3)_{\text{service}=\text{poor}} = \frac{b - x}{b - a} = \frac{4 - 3}{4 - 0} = 0,25$$

$$\mu(3)_{\text{service}=\text{good}} = \frac{x - a}{b - a} = \frac{3 - 1}{4 - 1} = 0,66$$

$$\mu(3)_{\text{service}=\text{excellent}} = 0$$

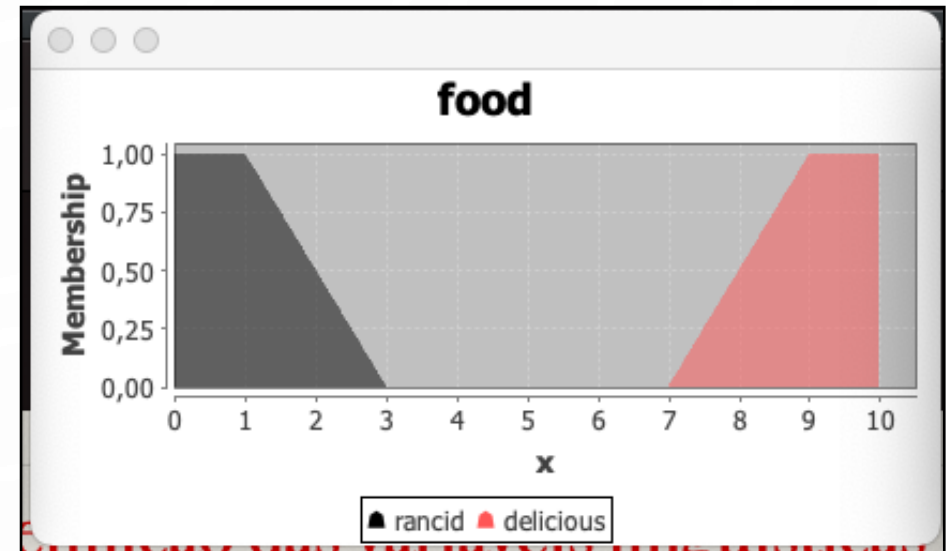


EXEMPLO:

- Food = 7
- Pertinência para os conjuntos da variável Food

$$\mu(7)_{\text{food}=\text{rancid}} = 0$$

$$\mu(7)_{\text{food}=\text{delicious}} = 0$$



EXEMPLO:

RULE 1 : IF service IS poor OR food IS rancid THEN tip IS cheap;

RULE 2 : IF service IS good THEN tip IS average;

RULE 3 : IF service IS excellent AND food IS delicious THEN tip IS generous;

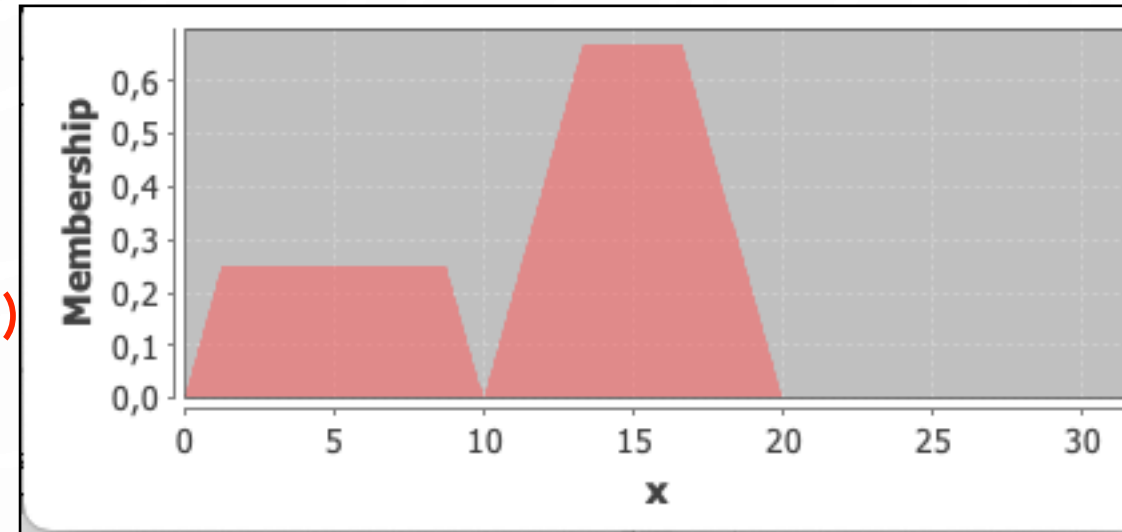
• Agregação (combinação dos antecedentes)

- Regra 1: $0,25 \text{ OR } 0$ (pega o máximo) = $0,25$
- Regra 2: $0,66$ (Só tem esse antecedente)
- Regra 3: $0 \text{ AND } 0$ (pega o mínimo) = 0

• Ativação (leva essa pertinência para o consequente)

- Regra 1: tip is cheap = $0,25$
- Regra 2: tip is average = $0,66$
- Regra 3: tip is generous = 0

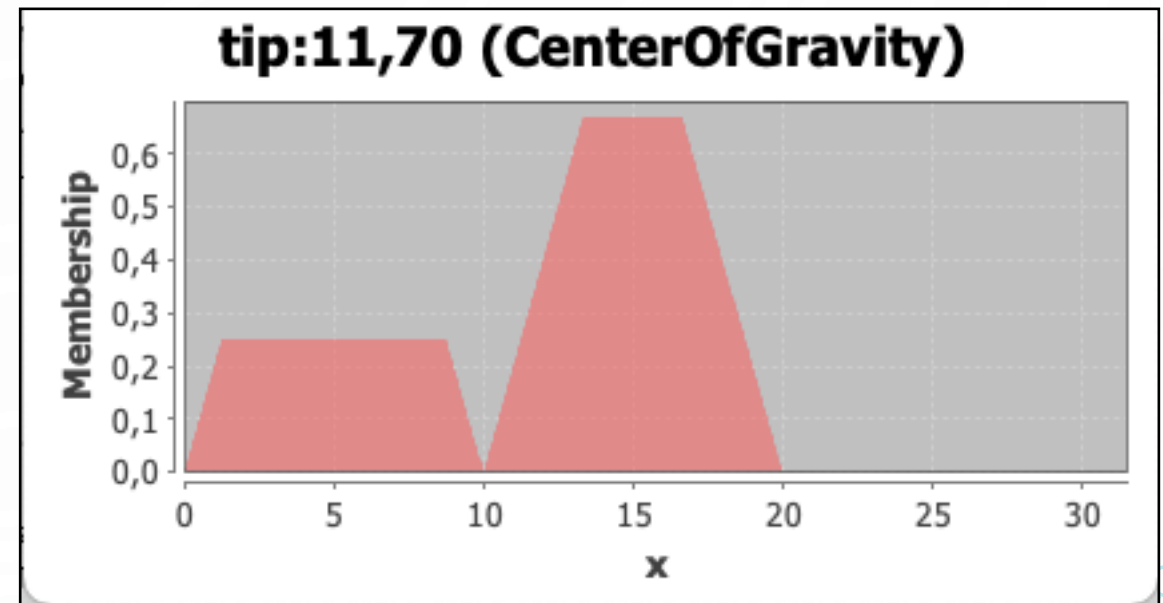
• Acumulação (faz a união dos resultados, pegando o valor máximo para cada conjunto)



PELO CENTROIDE:

Ele faz uma **divisão do somatório de todos os pontos com suas respectivas pertinências pelo somatório das pertinências de todos os pontos** do intervalo de saída

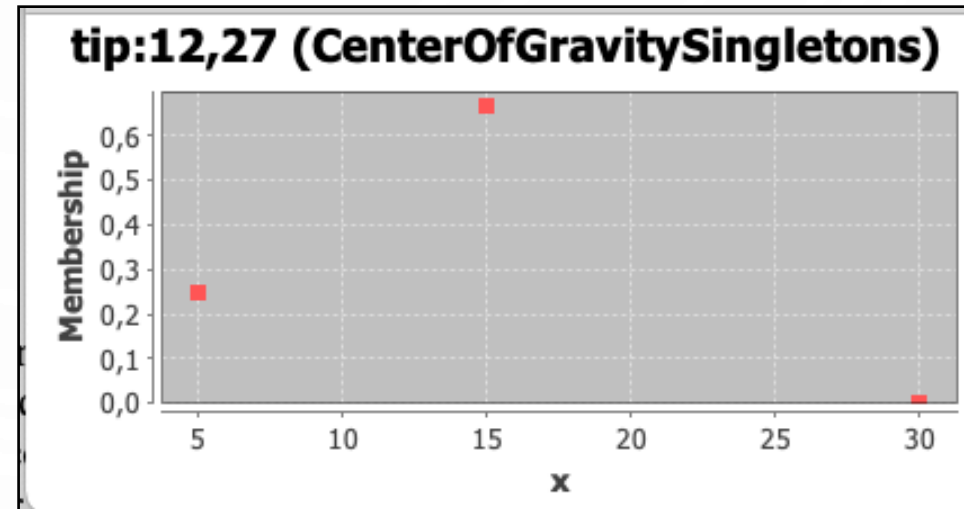
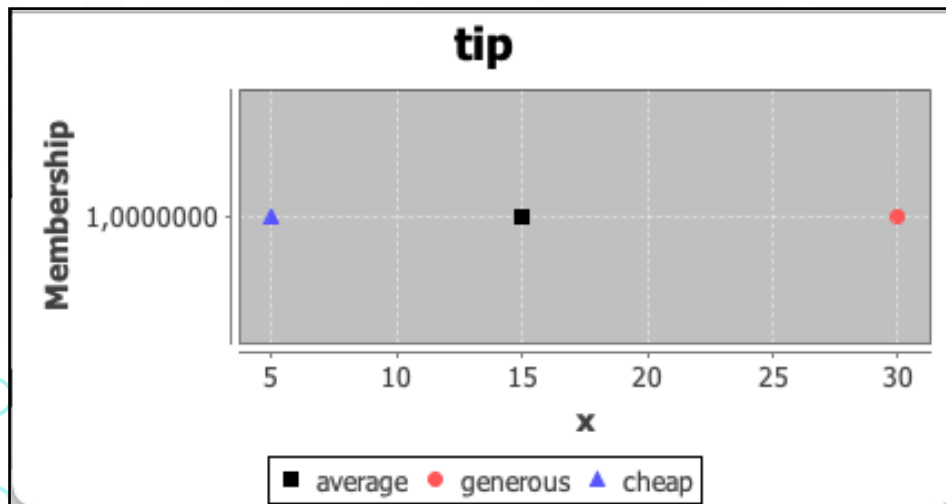
$$\text{Center of gravity} : \frac{\int x\mu(x)dx}{\int \mu(x)dx}$$



SINGLETON

- Um conjunto fuzzy pode ser modelado com a característica especial de apresentar um único valor com pertinência igual a um e todos os demais com pertinência zero
- Este tipo de conjunto fuzzy é denominado **singleton**

Cheap = 5, Average = 15, Generous = 30



MODELO TAKAGI-SUGENO

- O controlador de TS, desenvolvido por Takagi e Sugeno em 1983 consiste numa simplificação do controlador de Mamdani, onde o **consequente** de cada regra é definido como uma função das variáveis linguísticas de entrada. Isto é, a regra geral pode ser escrita como:

$$\text{se } x \text{ é } A \text{ e } y \text{ é } B \text{ então } z = f(x, y)$$

- O resultado de cada regra é, portanto, um valor numérico (não um conjunto *fuzzy*), que assume como peso o valor da pertinência resultante do processamento do antecedente da regra (ativação)
- A resposta final do controlador é obtida pela média ponderada das respostas das regras individuais.

MODELO TAKAGI-SUGENO

Exemplo:

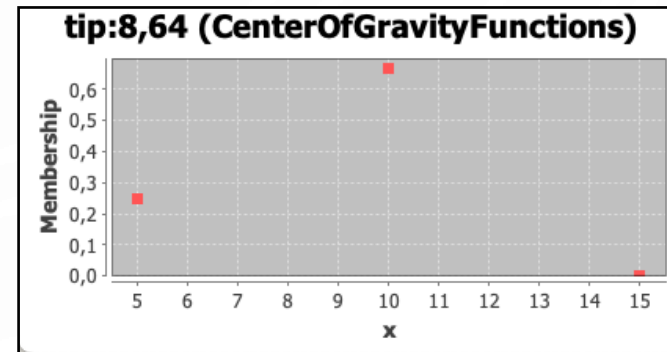
```
DEFUZZIFY tip // Defuzzify output variable 'tip' : {'cheap', 'average', 'generous' }  
  TERM cheap := FUNCTION( (service + food) / 2);  
  TERM average := FUNCTION(service + food);  
  TERM generous := FUNCTION( (service + food) * 1.5);  
  METHOD : COGF; // Use 'Center Of Gravity Functions' defuzzification method  
  DEFAULT := 0; // Default value is 0 (if no rule activates defuzzifier)  
END_DEFUZZIFY
```

❖ Sendo as entradas service = 3 e food = 7 e as ativações de cada regra:

❖ Regra 1: tip is cheap = 0,25

❖ Regra 2: tip is average = 0,67

❖ Regra 3: tip is generous = 0



$$COGF = \frac{((3 + 7)/2) * 0.25 + (3 + 7) * 0.67 + ((3 + 7) * 1.5) * 0}{0.25 + 0.67 + 0} = 8.64$$

VER LIB SIMPFUL: <https://www.atlantis-press.com/journals/ijcis/125945415/view>