

Sistemas Inteligentes

Lógica Nebulosa (Fuzzy)

Aula 18/11

Material do Prof. Luiz Chaimowicz

Lógica Nebulosa – *Fuzzy Logic*

O ser humano é inexato por natureza

Hoje está **mais ou menos** quente

O show é **meio** caro

Aquele cara é **baixinho**

Coloque **um pouco** de sal

Picanha **bem passada**

Não há incerteza sobre o valor. O problema é como definir “linguisticamente” esse valor

Jogo de Golfe

Se a bola está **longe** do buraco e o terreno está **levemente inclinado** da esquerda para direita, bata na bola **forte** e numa direção **um pouco a esquerda** da bandeira

Se a bola está **muito perto** do buraco e o terreno é **plano**, bata na bola **gentilmente** e **diretamente na direção** do buraco

Jogo de Golfe

Definição de Distância

Muito Perto: $< 1\text{m}$

Perto: $1 - 3\text{m}$

Médio: $3 - 5\text{m}$

Longe: $5 - 7\text{m}$

Muito Longe: $>7\text{m}$

Como classificar a distância 4.99m ?

Intuitivamente, sabemos que 4.99 está mais para longe do que para médio

Lógica Nebulosa

1965 – Lotfi Zadeh

“Fuzzy logic is a means of presenting problems to computers in a way akin to the way humans solve them”

“The essence of fuzzy logic is that everything is a matter of degree”

Muito perto, perto, médio, longe, muito longe

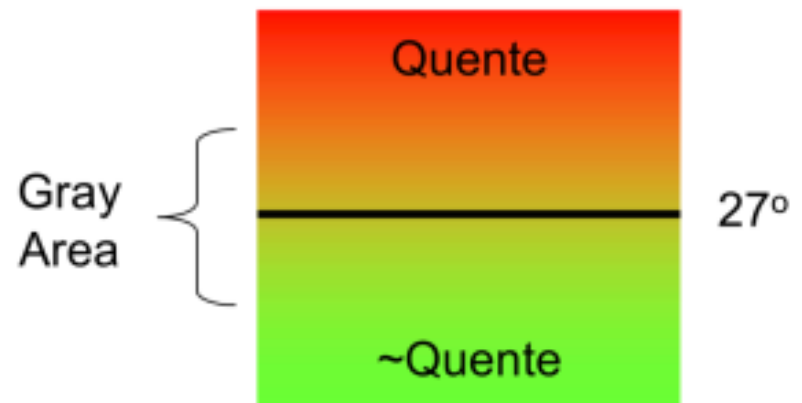
4.99 esta mais para longe do que para médio

Lógica Nebulosa

Lógica Booleana



Lógica Nebulosa



Lógica Nebulosa permite diferentes graus de verdadeiro e falso

Pensem em um controle de Ar Condicionado...

Lógica Nebulosa

Tradicionalistas em lógica argumentam que lógica booleana pode ser utilizada para representar as mesmas coisas

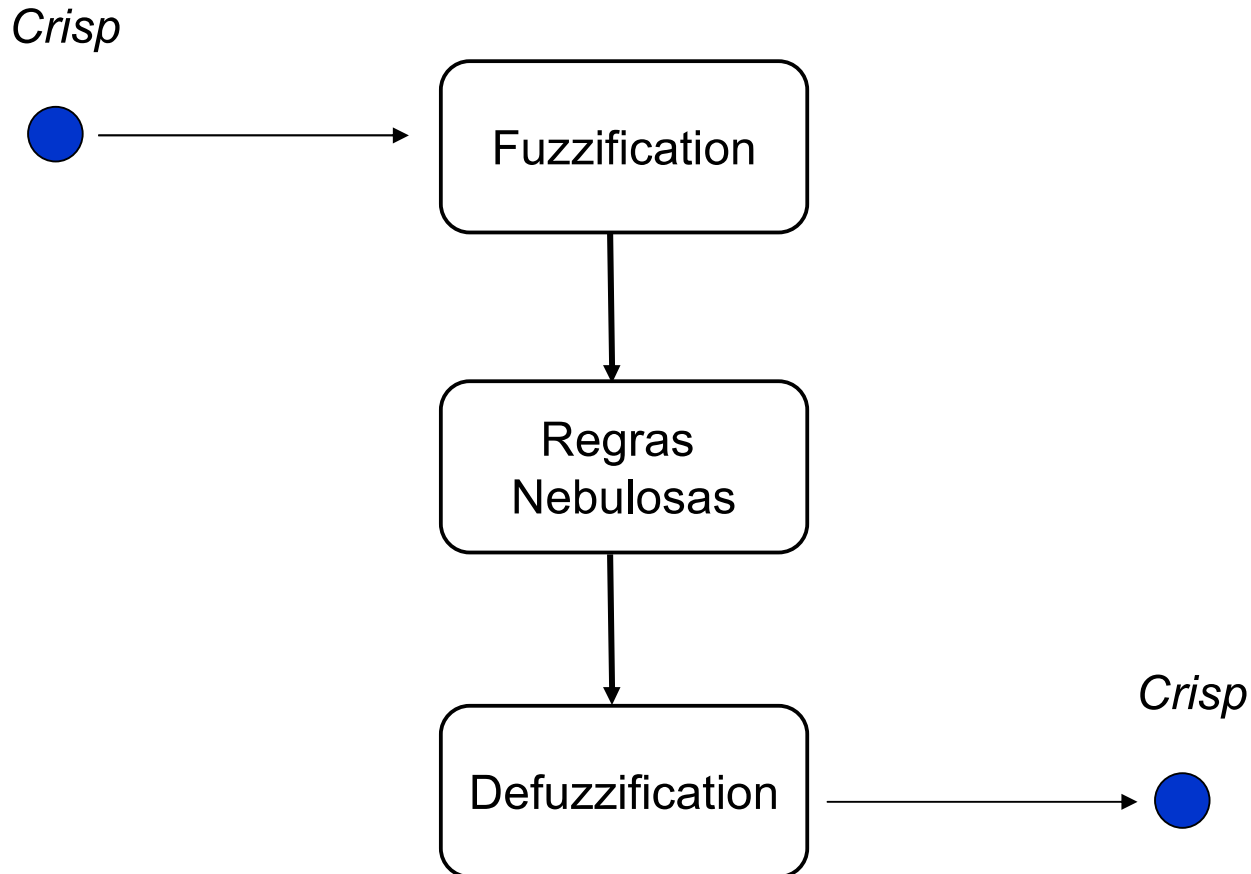
Vários atributos: T21-24, T24-27, T27-30, T30-33

Fazer os intervalos ficar cada vez menores...

Com isso, o número de regras em um *Rule Based System* é muito maior...

50% a 80% maior

Processo Básico - Inferência



Conjuntos Claros (*Crisp*)

Exemplo

Universo (U): números inteiros entre 1 e 15

Pares = { 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 }

Ímpares = { 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 }

2 pertence aos pares, 3 pertence aos ímpares

Operações

União

Interseção

Complemento

Conjuntos Nebulosos

Conjuntos Crisp não são adequados em várias situações práticas

Exemplo Teste de QI

Burro = { 70, 71, 72, ... , 89}

Mediano = { 90, 91, 92, ... , 109}

Inteligente = { 110, 111, ... , 129}

Como comparar os QI's 89 com 90 e 91 com 109?

Os conjuntos nebulosos permitem que os elementos pertençam à diferentes conjuntos

Partial Membership

Membership Functions

Transformam uma entrada *crisp* em uma entrada nebulosa

As funções vão indicar o **grau** daquela entrada para um determinado conjunto nebuloso

Definem uma transição gradual

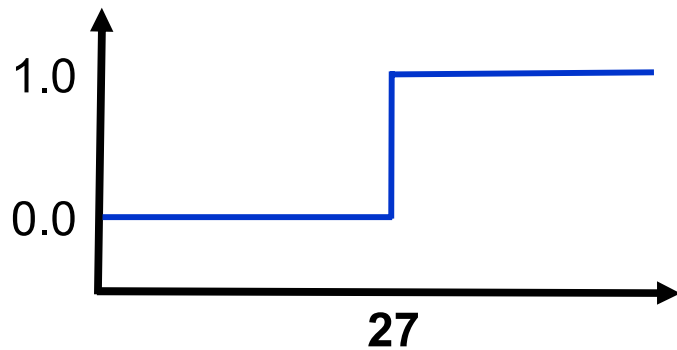
Mapeiam a entrada em valores 0..1

Virtualmente qualquer função pode ser usada

Esse processo é chamado de *Fuzzification*

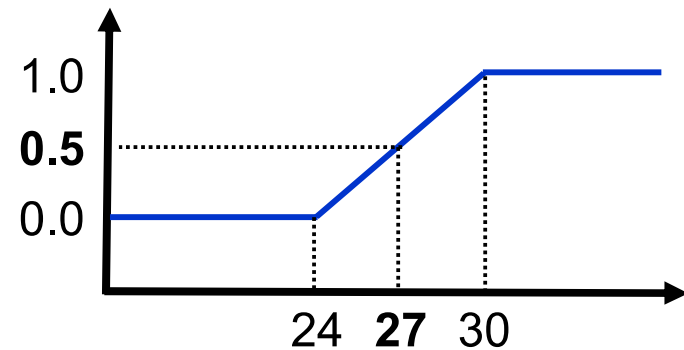
Membership Functions

Lógica Booleana



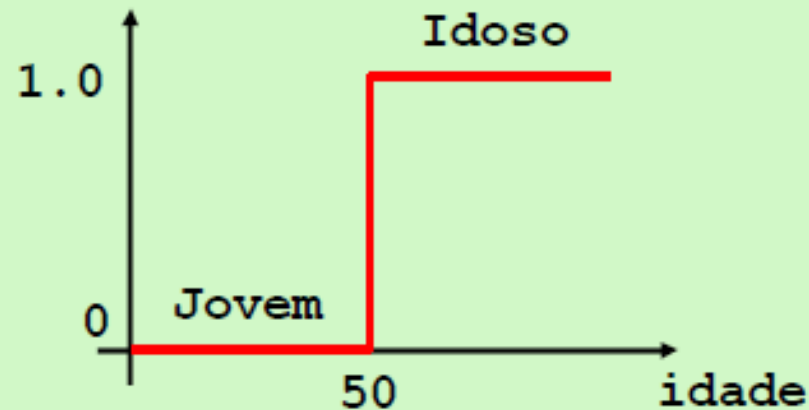
26.9 graus é frio
27.1 graus é quente

Lógica Nebulosa



27 graus é 0.5 quente
(27 graus é meio quente)

● Recordando a Lógica Booleana



If idade ≥ 50

É Idoso

Else

É Jovem

**Altamente
Determinístico**



A pessoa só pode ser Jovem OU Idosa

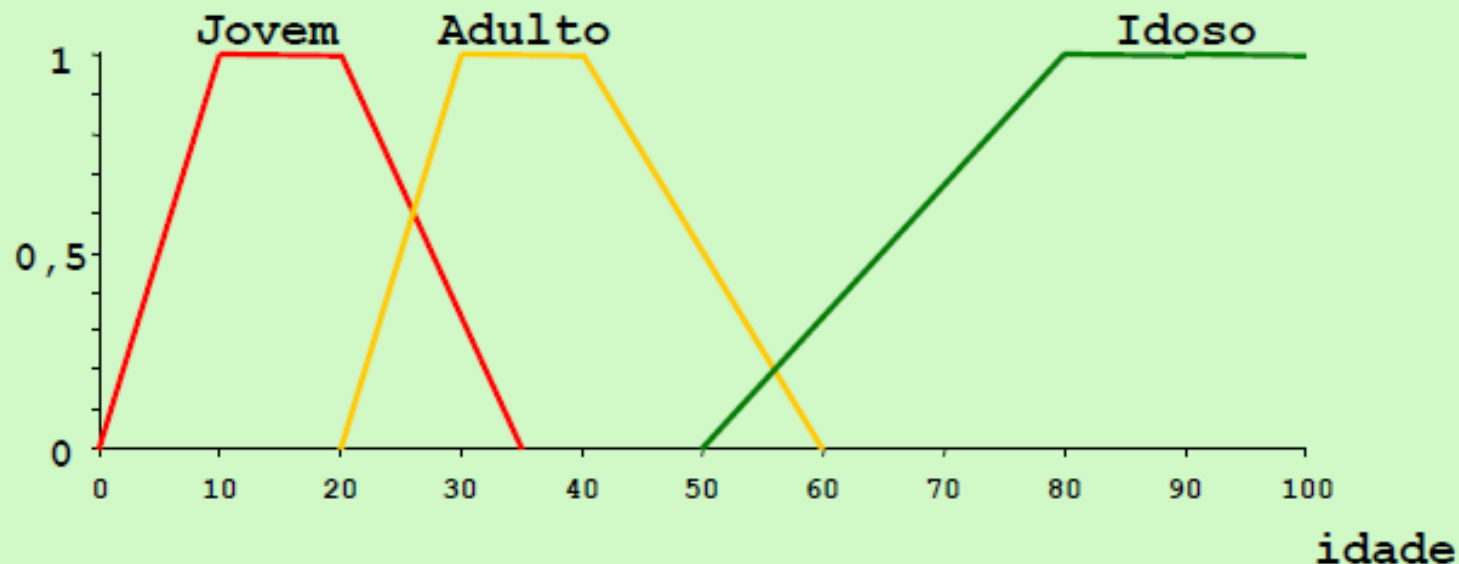
Pessoa com **90** anos é **Idosa**

Pessoa com **2** anos é **Jovem**

Pessoa com **51** anos é **Idosa** ???

Pessoa com **49** anos é **Jovem** ???

Lógica Nebulosa



Pessoa com **90** anos é $\{0,0; 0,0; 1,0\}$

Pessoa com **2** anos é $\{0,2; 0,0; 0,0\}$

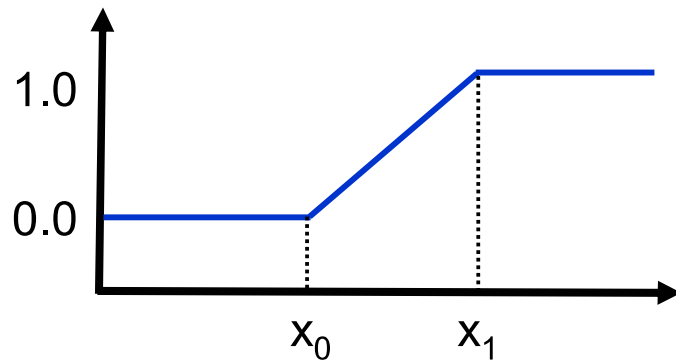
A pessoa **É Jovem, Adulta e Idosa**

Pessoa com **51** anos é $\{0,0; 0,45; 0,03\}$

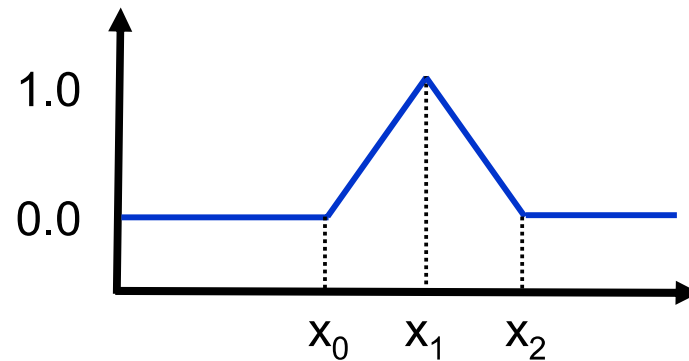
Pessoa com **49** anos é $\{0,0; 0,55; 0,0\}$

Funções Típicas

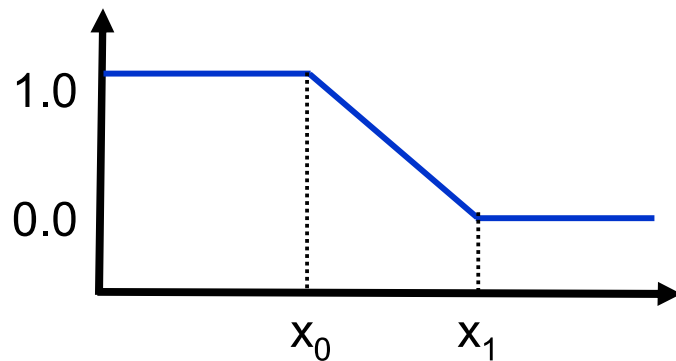
Rampa



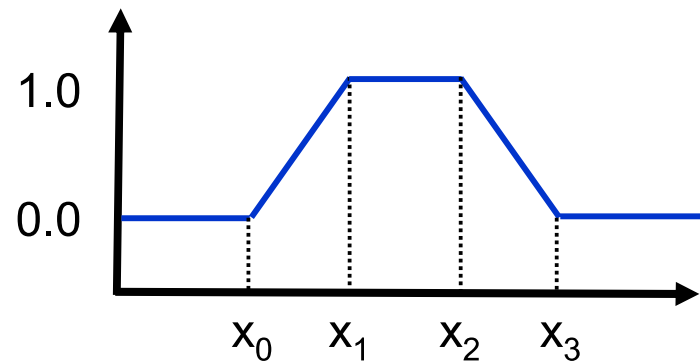
Triângulo



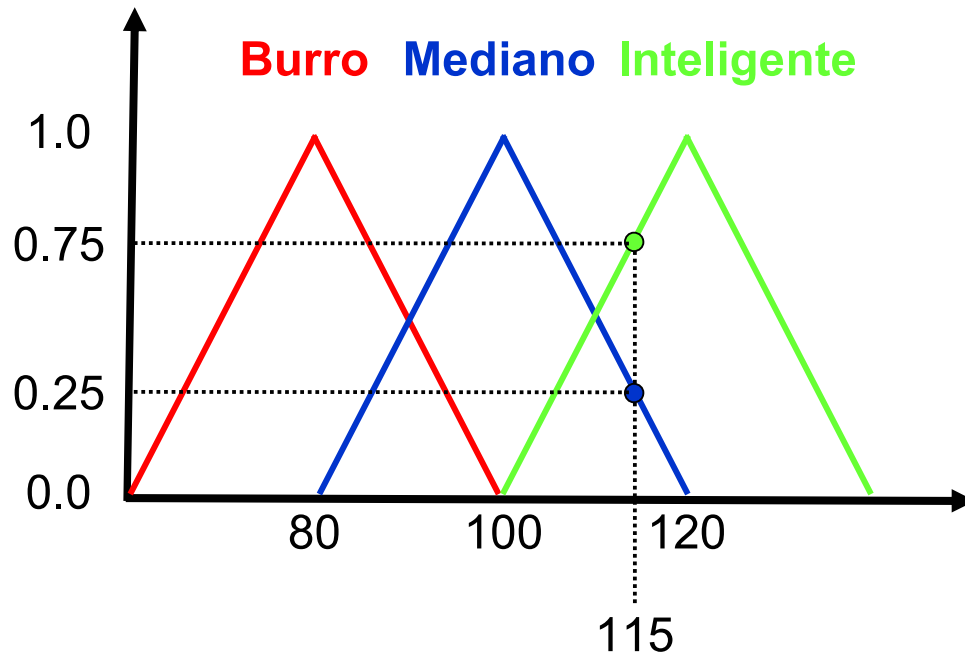
Rampa Invertida



Trapézio



Membership to Fuzzy Sets



Degree of Membership (DOM):
25% Mediano
75% Inteligente

$$F_{\text{Mediano}}(115) = 0.25$$

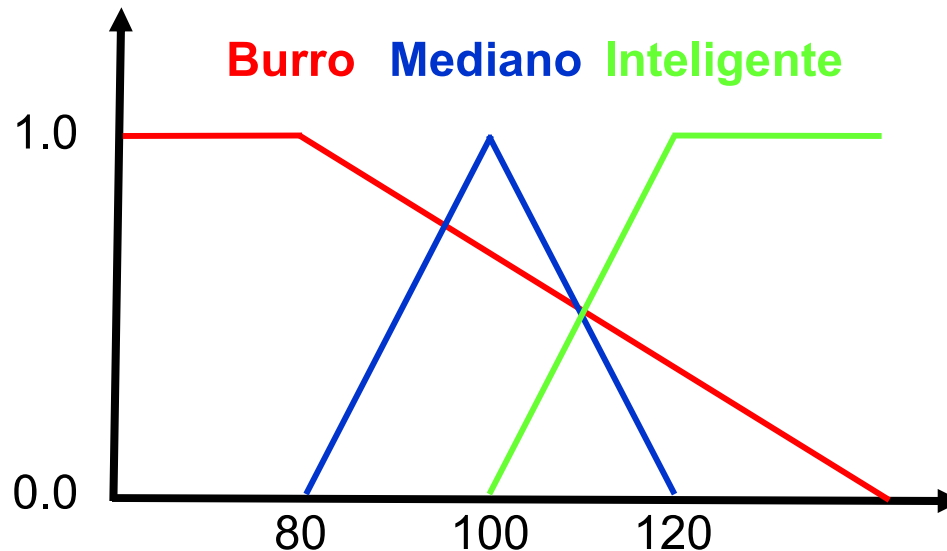
$$F_{\text{Inteligente}}(115) = 0.75$$

Dicas para uma boa escolha

De forma a fazer transições suaves a soma dos DOMs deve ser próxima de 1

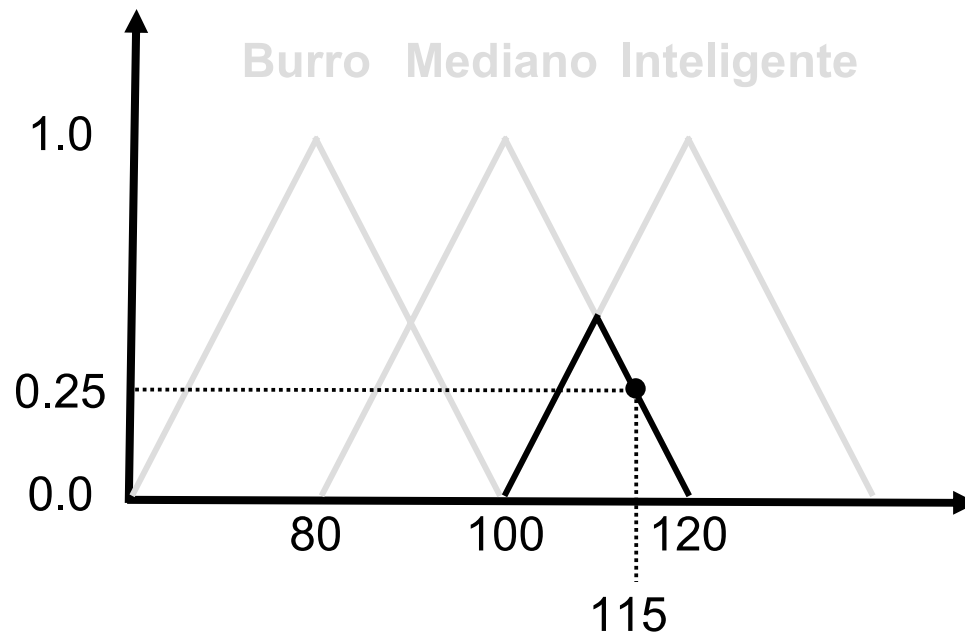
Não colocar mais de dois conjuntos para cada valor de x

Contra Exemplo



Operadores

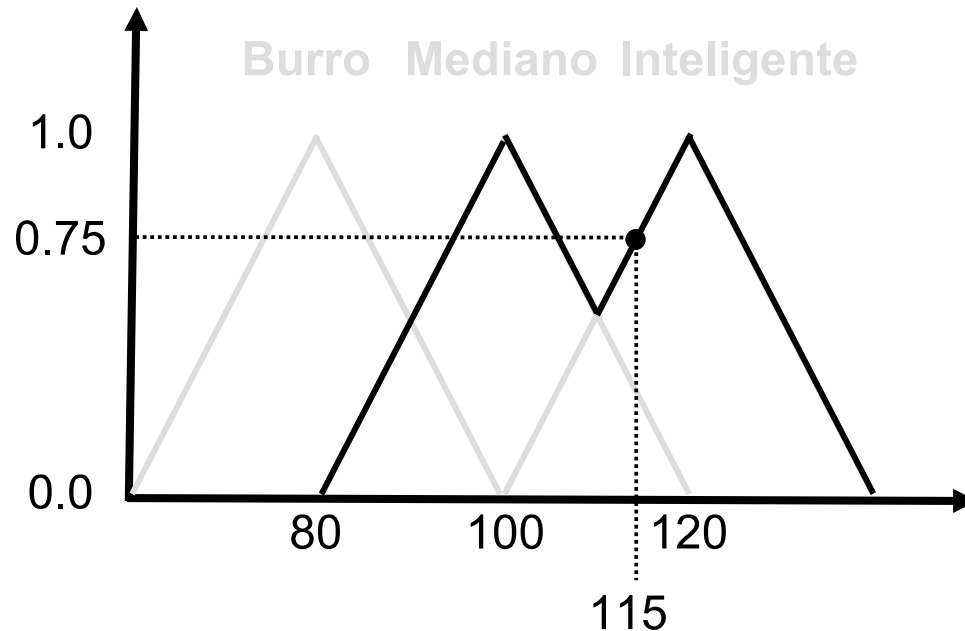
Mediano AND Inteligente



$$F_{\text{Mediano} \cap \text{Inteligente}}(x) = \min\{F_{\text{Mediano}}(x), F_{\text{Inteligente}}(x)\}$$

Operadores

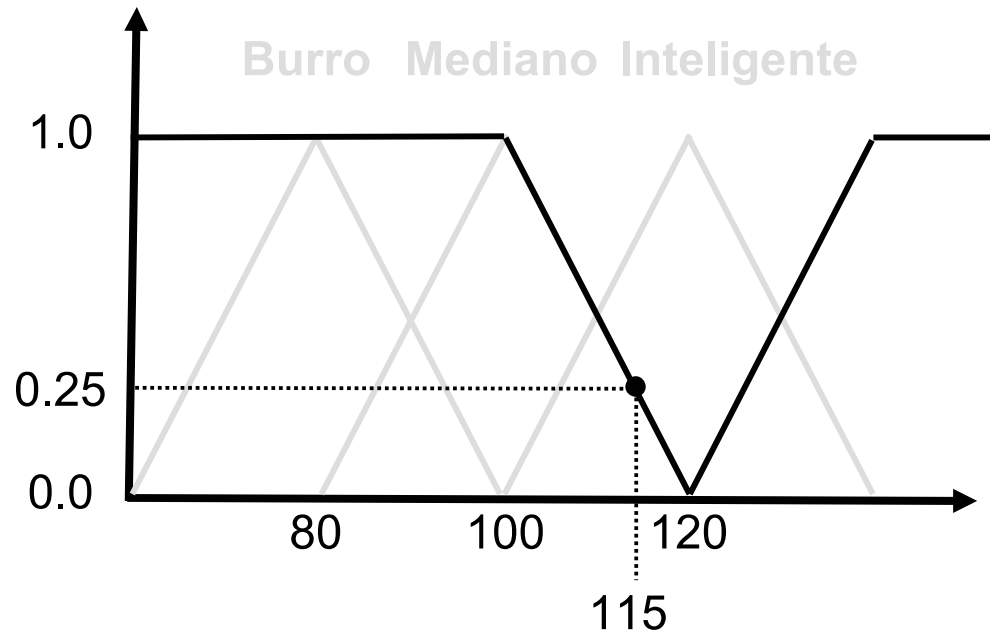
Mediano OR Inteligente



$$F_{\text{Mediano} \cup \text{Inteligente}}(x) = \max \{F_{\text{Mediano}}(x), F_{\text{Inteligente}}(x)\}$$

Operadores

NOT Inteligente



$$F_{\neg\text{Inteligente}}(x) = 1 - F_{\text{Inteligente}}(x)$$

Regras Nebulosas

If A then B

A é chamado **antecedente** ou premissa

B é chamado **conseqüente** ou conclusão

Exemplos:

If Perto **and** Tem_Munição **then** Atira

If Longe **then** Faz_Nada

Diferentemente da lógica booleana, A vai ter valores entre 0 e 1. B vai receber o mesmo valor de A

Regras Nebulosas

As regras são disparadas com um certo grau!

Após a aplicação de todas as regras, pode-se ter diferentes graus para as conclusões

Inferência Nebulosa

Para cada regra

Para cada Antecedente, calcular o seu grau

Calcular a Conclusão

Combinar os resultados para determinar o conjunto nebuloso (*Fuzzy Association Matrix – FAM*)

Se desejada uma saída *crisp* fazer a defuzzificação

Exemplo

Temos um lançador de granadas, e queremos saber quando ele é útil, de forma a escolhê-lo e usá-lo na hora certa

Variáveis (*FLVs – Fuzzy Linguistic Variables*)

Antecedentes

Distância para o alvo

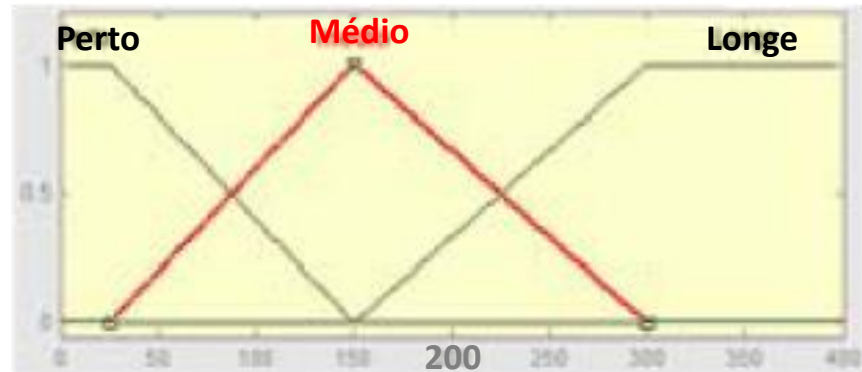
Quantidade de munição

Conclusão

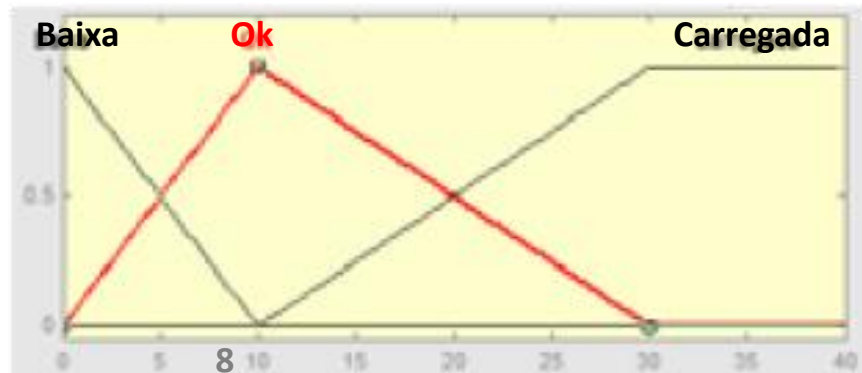
Utilidade

Exemplo

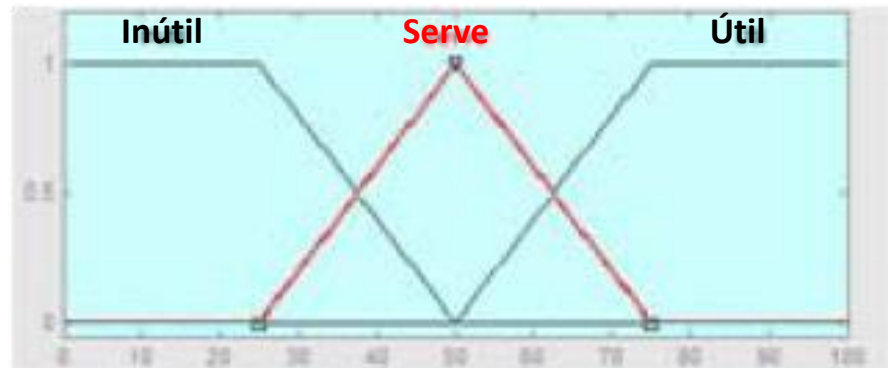
Distância
pixels



Munição
granadas



Utilidade
%



Exemplo: Regras

Lançador de granadas é mais útil a média distância. Perto pode me matar

If longe **AND** Carregada **THEN** serve

If longe **AND** OK **THEN** inutil

If longe **AND** Baixa **THEN** inutil

If medio **AND** Carregada **THEN** util

If medio **AND** OK **THEN** util

If medio **AND** Baixa **THEN** serve

If perto **AND** Carregada **THEN** inutil

If perto **AND** OK **THEN** inutil

If perto **AND** Baixa **THEN** inutil

Exemplo: Inferência

200 pixels de distância com 8 granadas...

Uso o lançador de granadas?

Inferência

Regra 1: **if** longe **AND** Carregada **THEN** serve

Longe = 0.33, *Carregada* = 0 : (0.33 AND 0) = 0

Portanto, *Serve* = 0

Regra 2: **if** longe **AND** OK **THEN** inutil

Longe = 0.33, *Ok* = 0.78 : (0.33 AND 0.78) = 0.33

Portanto, *Inutil* = 0.33

...

Exemplo: FAM

Fuzzy Association Matrix (FAM)

	Perto	Médio	Longe
Baixo	Inútil 0	Serve 0.2	Inútil 0.2
OK	Inútil 0	Útil 0.67	Inútil 0.33
Carregada	Inútil 0	Útil 0	Serve 0

Exemplo: agregação

Considera-se apenas as regras “disparadas”

O valor obtido pode ser considerado como um nível de confiança daquele resultado

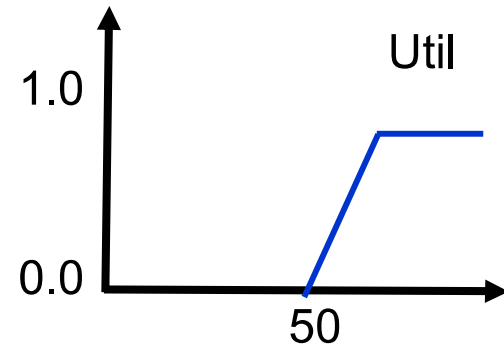
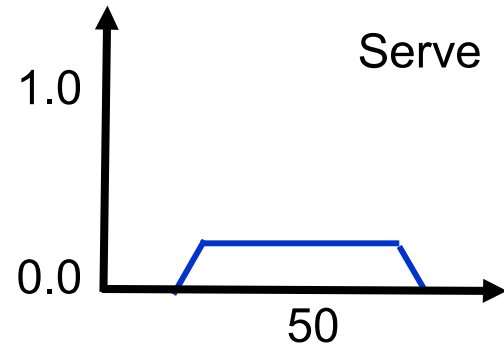
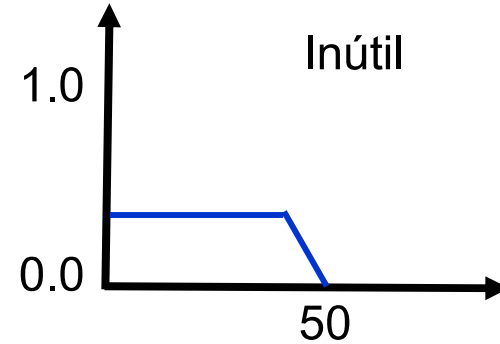
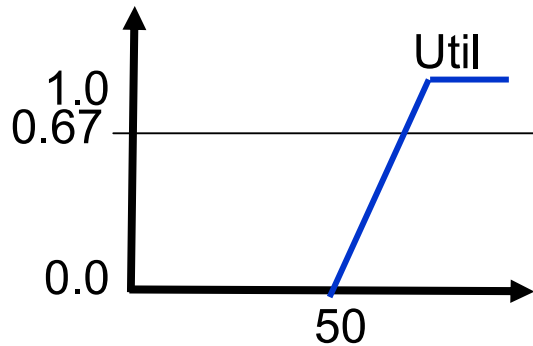
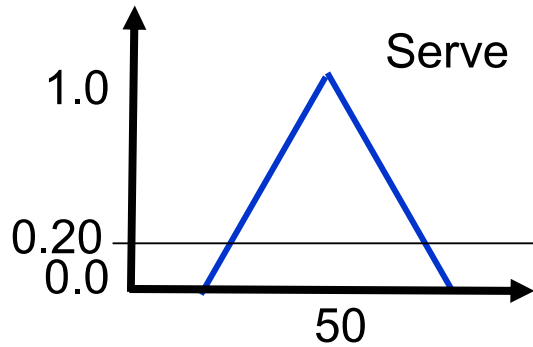
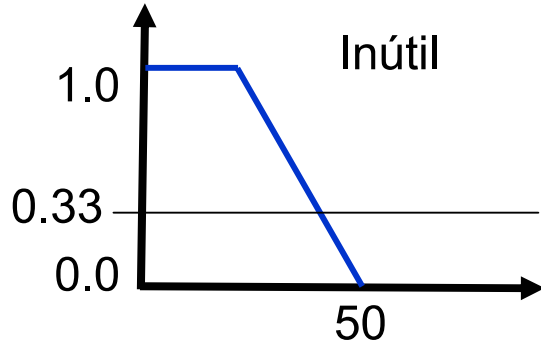
Útil = 0.67

Serve = 0.2

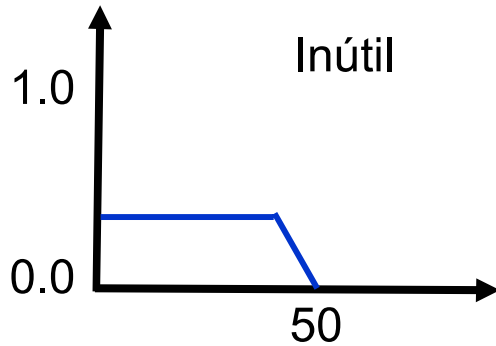
Inútil = 0.33

Max das duas que dispararam. Pode usar o mínimo, a soma ou alguma média.

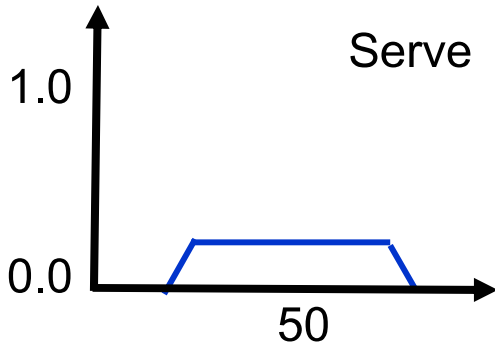
Exemplo: resultados graficamente



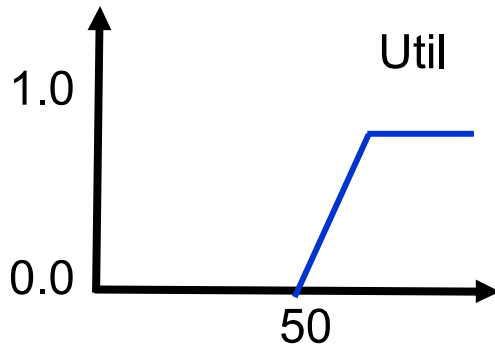
Exemplo: Combinando Conclusões



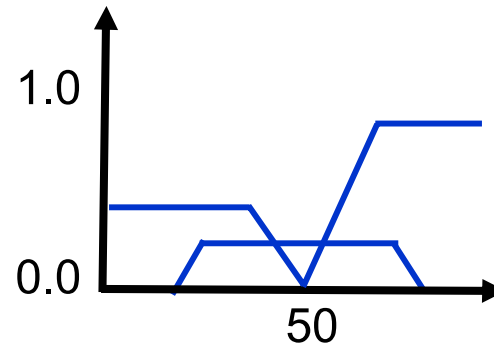
+



+



Utilidade
para distância 200 e
Munição 8



Exemplo: *Defuzzificação*

Processo de obter um resultado *crisp* partir do conjunto nebuloso

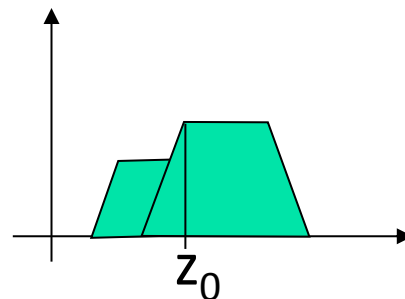
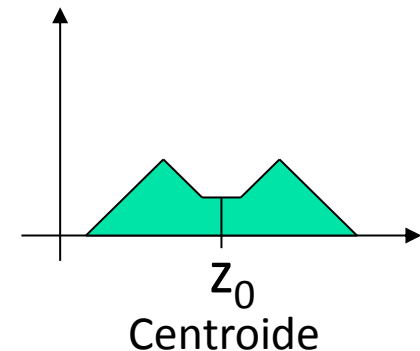
Vários Métodos:

MOM – Mean of Maximum

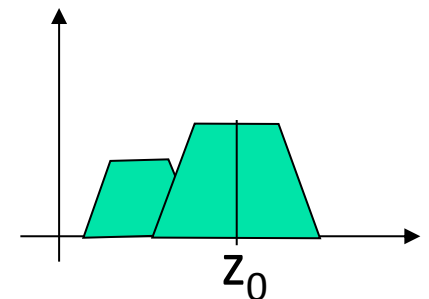
Centróide

MaxAv (Mediana)

Etc...



Primeiro dos máximos



Média dos máximos

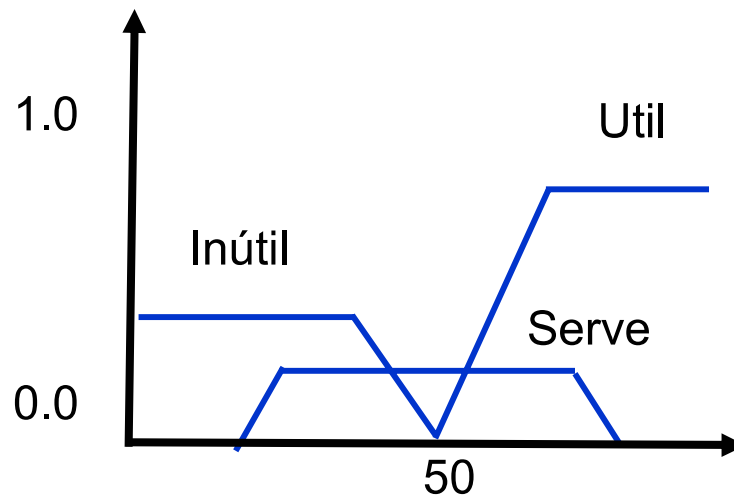
Exemplo: *Defuzzificação*

Centróide

O método mais preciso mas também o mais complexo de calcular

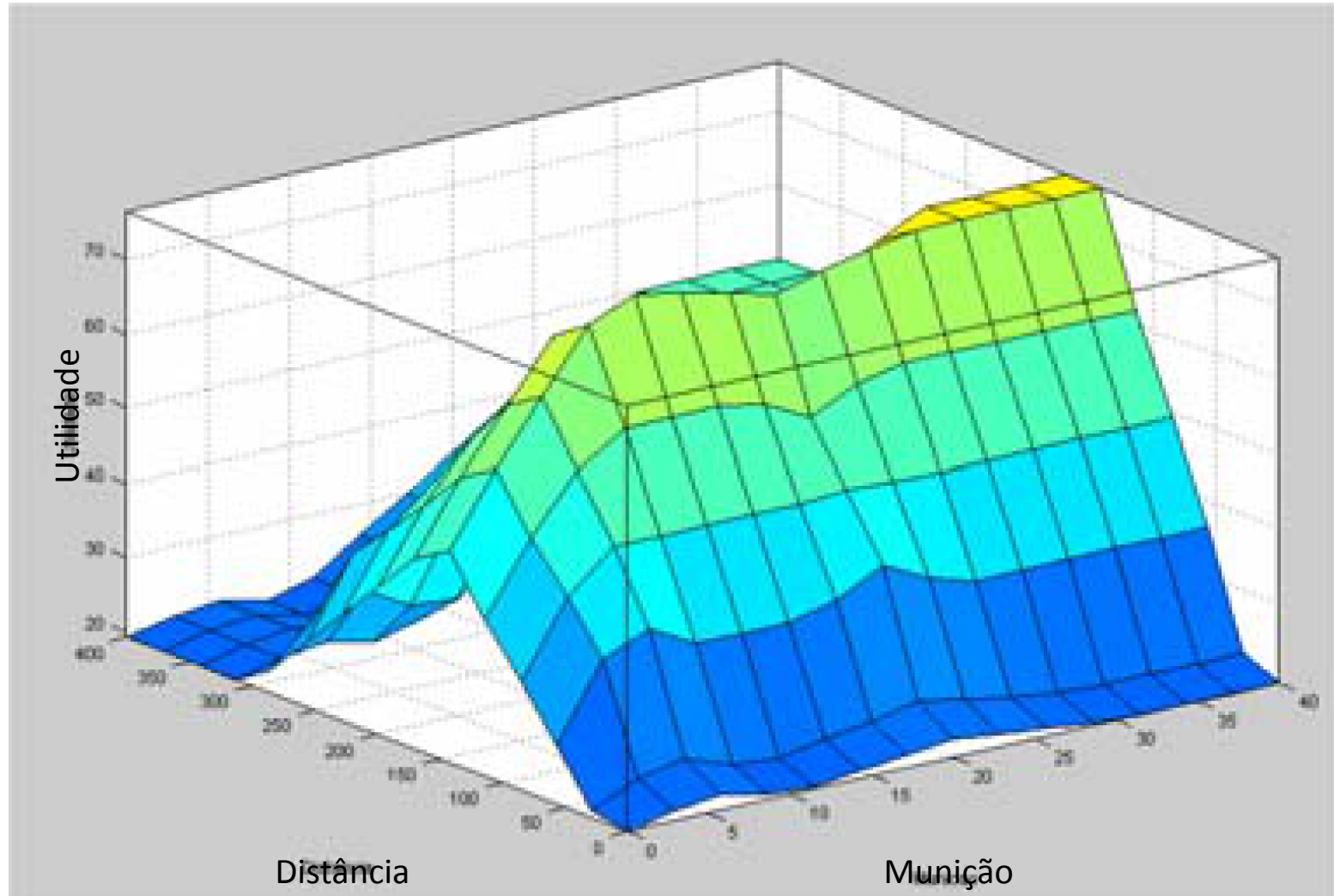
Computa-se o centróide (centro de massa) do conjunto

$$Valor = \frac{\sum_{x=\min}^{\max} \left(x \times \sum_m f_m(x) \right)}{\sum_{x=\min}^{\max} \left(\sum_m f_m(x) \right)}$$



No exemplo, centróide = 58.9

Exemplo: Resultado Final



Aplicações em Jogos

Controle de Movimento

Para onde virar o NPC? personagem não jogável/manipulável
(*non-player character*)

Tomada de Decisões / Inferência

Qual decisão tomar frente ao estado atual?

Exército Inimigo: pequeno, médio, grande, ...

Distância: muito longe, longe, perto, ...

Conclusão: pouca ameaça, média ameaça, ...

Ação: número de exércitos enviar para defesa

Classificação

Ex. Determinar um ranking para seus NPCs

Outras aplicações

- Mitsubishi tem um ar condicionado industrial que usa um controlador fuzzy. Economiza 24% no consumo de energia.
- Metrô de Sendai, Japão, usa um controlador fuzzy para controlar os vagões. Proporciona uma viagem suave em todas as condições de terreno.
- Câmeras e gravadoras usam fuzzy para ajustar foco automático e cancelar os tremores causados pelas mãos trêmulas.
- A Nissan possui projetos de sistemas de freio, controle de transmissão e injetores de combustível fuzzy.
- Aplicações de software para buscar e comparar imagens por certas regiões de pixels de interesse.
- Copiadora Canon ajusta a voltagem do tambor baseado na densidade da imagem, temperatura e umidade.
- Secadora de roupa Matsushita ajusta a estratégia do tempo de secagem baseado no tamanho da carga e tipo de tecido
- Lavadoras de roupa (Daewoo, Goldstar, Hitachi, Matsushita, Samsung, Sony, Sharp, etc.) ajustam a estratégia de lavagem, baseado no nível sujeira, tipo de tecido, na quantidade de roupa, e nível d'água.

Ferramentas

- **JFuzzyLogic**

- <http://jfuzzylogic.sourceforge.net>

- InFuzzy (desenvolvido na UNISC)

- Fuzzy Toolbox do Matlab

- NEFCON, NEFCLASS e NEFPROX... (desenvolvidos pela Universidade de Magdeburg)

- SciFLT for Scilab (free)

- UnFuzzy (free)

- FuzzyTech

- FuzzyClips (free, API para Java)

Referências

- Terano, T., Asai, K., Sugeno, M. - Fuzzy Systems Theory and its Applications - Editora Academic Press, 1992 (ISBN: 0126852456)
- Driankov, Dimiter - An introduction to fuzzy control - Editora Springer-Verlag , 1996 (ISBN: 3540606912)
- MAMDANI, E. H. Applications of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. Proc. IEEE 121, vol. 12, p. 1585-1588, 1973.
- SUGENO, M.. An introductory survey of fuzzy control. *Information Sciences 36, p. 59-83, 1985.*

Questão 3 da P2 (25%)

- Escolha uma das ferramentas para modelagem de lógica nebulosa. Sugestão: JFuzzyLogic em: <http://jfuzzylogic.sourceforge.net>
- Escolha um problema de decisão (diferente dos apresentados nestes slides) que possa ser modelado com três ou mais conjuntos nebulosos. Algo semelhante ao problema da gorjeta (considerando a qualidade da comida e do serviço):
<http://jfuzzylogic.sourceforge.net/html/fcl/tipper.fcl>
<http://jfuzzylogic.sourceforge.net/html/manual.html> (manual)
- Integre com Java (item 6 do manual <http://jfuzzylogic.sourceforge.net/html/manual.html>) e mostre a “defuzzificação” para um ou mais casos.
- **Entrega:** todo o código na ferramenta escolhida e uma breve documentação da modelagem feita e de como executar o programa.

– Prazo: 26/11