

11

Sistemas Neuro-Difusos

IC 22/23

1

Motivação

*“So far as the laws of mathematics refer to reality, they are not certain. And so far as they are certain, they do not refer to reality”
Albert Einstein*

*“As complexity rises, precise statements lose meaning and meaningful statements lose precision”
Lofti Zadeh*

2

Motivação

Sistemas difusos procuram estabelecer um compromisso entre:

Precisão

Relevância da informação

Do ponto de vista matemático, representam um mapeamento de um espaço de entrada num espaço de saída de uma forma **linguisticamente interpretável**.

3

Vantagens

- Baseiam-se em linguagem natural
 - Fácil de perceber pelo humano (modelos interpretáveis)
 - Flexibilidade
- Tolerância a imprecisão dos dados.
- Aproxima funções não lineares com precisão arbitrária-
- A construção baseia-se no conhecimento de um perito (enquanto as redes neuronais são treinadas com base em dados)
 - Experiência de vários peritos pode ser aglomerada num modelo computacional.

4

Quando Usar?

- Sempre que seja vantajoso o desenvolvimento de aplicações que tomem **decisões semelhantes aos humanos**.
- Teoricamente, pode-se substituir um sistema difuso usando outras técnicas convencionais (modelos matemáticos), contudo um sistema difuso, na maior parte dos casos, é de **menor dificuldade de desenvolvimento**.
- Funciona como uma **extensão à lógica convencional**. Assim, qualquer aplicação da lógica convencional também serve como aplicação para sistemas difusos.

5

Quando usar?

Exemplos:

1. Pretende-se realizar uma ação de *marketing* baseada no perfil de clientes.

Critério de Seleção de um grupo alvo

Idade: entre 40 e 55 anos

Filhos: um ou mais

Rendimento anual: entre €40.000 e €55.000

- Será razoável não incluir um cliente, pai de 38 anos com três filhos e rendimento de €50.000?
- Será mais razoável (que o anterior) incluir um pai de 41 anos com um filho e rendimento de €40.500?

6

Quando usar?

2. Análise técnica para mercado de ações.

Uso de vários indicadores para detetar tendências do mercado:

- Quando devem ser detetadas?
- Quanto mais cedo melhor!

- a) A melhor previsão para amanhã é o dia de hoje – “*random walk theory*”?
- b) Um prognóstico de curto prazo pode ser incluído num indicador de médio ou longo prazo usando regras intuitivas e linguisticamente interpretáveis. Neste caso a aplicação de sistemas difusos será adequada.

7

Quando usar?

3. Controlo de um sistema de ar condicionado:

Tipo de regras:

“Se (temperatura é baixa) Então (Variação da potência é Positiva Alta)”

.....

Como definir o “conjunto” de temperaturas baixas?

“Teoria dos conjuntos difusos”

8

Resumo Histórico

Lógica Difusa:

*Inventada nos Estados Unidos
Desenvolvida na Europa
Aplicada no Japão*

Primeiro trabalho: “Fuzzy logic” Lofti Zadeh
University of California, Berkeley.

*“In my opinion, Zadeh’s suggestions have no chance to contribute
to the solution of this basic problem”*
R. Kalman, 1972

“Hammer principle”, L. Zadeh

9

Resumo Histórico

Anos 70 – Primeiras aplicações industriais (Europa)

- Mandani, Inglaterra – controlo de sistemas industriais
- H. Zimmerman, Alemanha – Sistemas de apoio à decisão.

Anos 80 – Ênfase em aplicações de Análise de dados.

- Japão toma a dianteira. Aplicações em engenharia de controlo (máquinas fotográficas, câmaras de vídeo, automóveis, etc...).
- Europa segue Japão
- Regresso aos Estados Unidos....
novos segmentos de mercado, combinação com redes neuronais.

10

Conceitos Básicos

Tipos de Incerteza

➤ Incerteza Estocástica

Associada à ocorrência de determinado evento:

“A probabilidade de atingir o alvo é de 0.8”

O evento está bem definido (atingir o alvo).

A incerteza (atingir ou não o alvo) é quantificada por um grau de probabilidade (0.8).

➤ Incerteza Lexical

imprecisão inerente à linguagem humana.

“O dia está quente”

“Provavelmente este será um bom ano econômico”

11

Exemplo

Cálculo de Gorjeta

Se serviço é mau, Então gorjeta é pequena

Se serviço é razoável, Então gorjeta é média

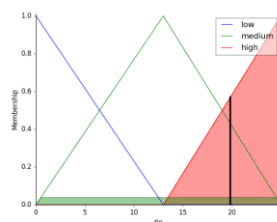
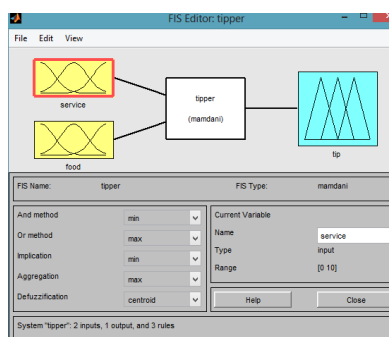
Se serviço é bom, Então gorjeta é generosa

Se comida é má, então gorjeta é pequena

Se comida é boa, então gorjeta é generosa

>> fuzzy tipper

https://pythonhosted.org/scikit-fuzzy/auto_examples/plot_tipping_problem_newapi.html



12

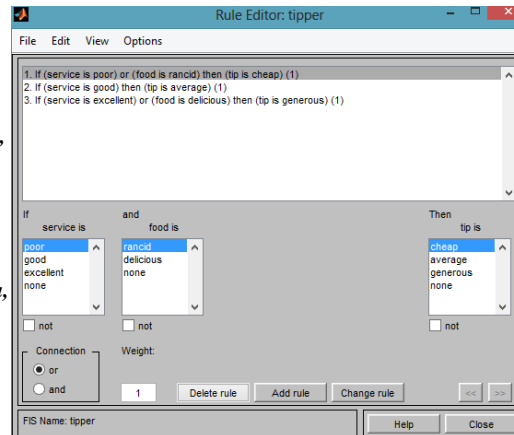
Exemplo

REGRAS

Se serviço é mau ou comida é má,
Então gorjeta é pequena

Se serviço é razoável,
Então gorjeta é média

Se serviço é bom ou comida é boa,
Então gorjeta é generosa

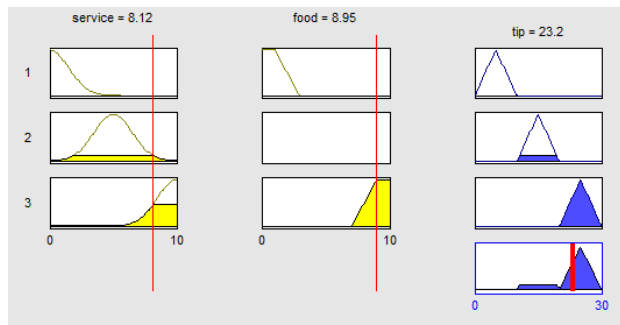


13

Exemplo

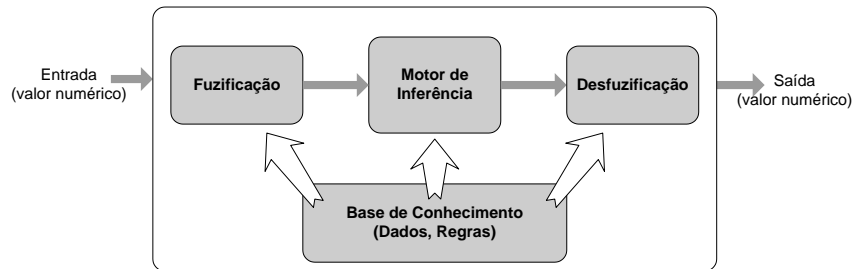
Caraterísticas:

- Baseado em senso comum. Fácil de Interpretar.
- Pode-se adicionar/remover/modificar regras facilmente
- A noção de serviço razoável ou comida boa pode variar de cidade para cidade ou de país para país, contudo a base de regras mantém-se intacta. Basta modificar parâmetros do sistema difuso.



14

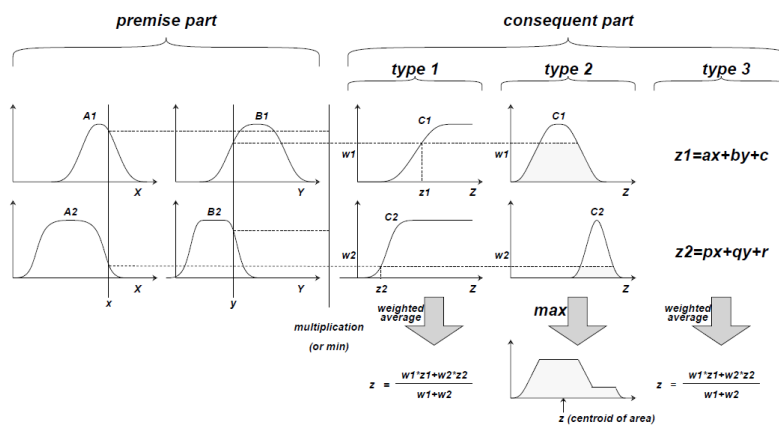
Mecanismo de Inferência Difusa



15

Inferência Difusa

- Existem diversas variantes, sendo as mais comuns:

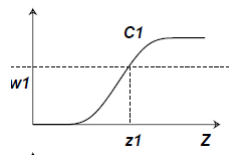


16

Inferência Difusa

• Tipo I

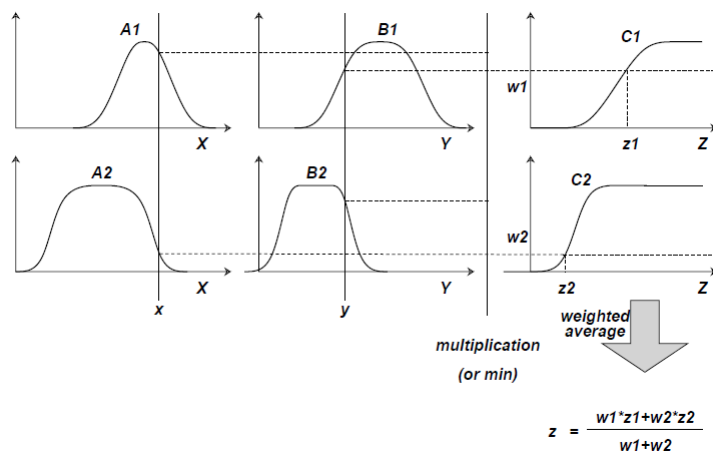
- A saída é a média ponderada da saída cresa de cada regra, induzida pelo ponto de corte e as funções de saída.
- o produto ou o mínimo pode ser usados
- As funções de saída devem ser **monótonas** não decrescentes



17

Inferência Difusa

• Tipo I

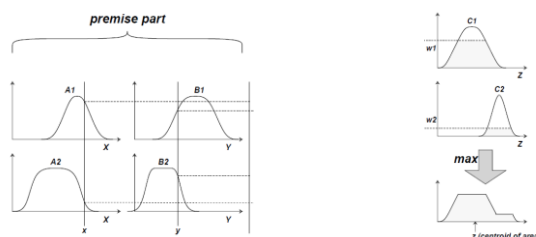


18

Inferência Difusa

• Tipo II

- A saída difusa é calculada aplicando o operador "max" às saídas difusas qualificadas (igual ao mínimo de força de disparo e à função de associação de saída de cada regra).
- Vários esquemas para escolher a saída (valor crespo) com base na saída difusa, sendo mais comum o centro da área:



19

Inferência Difusa

• Tipo III

- Com base no modelo de "Takagi e Sugeno"
- A saída de cada regra é uma combinação linear das variáveis (x,y) de entrada mais uma constante (c,r,...).
- A saída final é o somatório ponderado das saídas de cada regra ponderado pelos respectivos pontos de corte.

$$z1=ax+by+c$$

$$z2=px+qy+r$$



$$z = \frac{w1 \cdot z1 + w2 \cdot z2}{w1 + w2}$$

20

Sistemas Neuro-Difusos

Combinam sistemas difusos com redes neurais com o objetivo de:

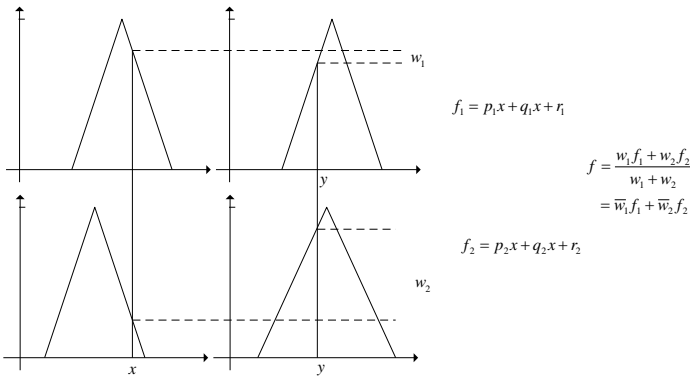
- Dotar os sistemas difusos de capacidade de aprendizagem.
- Dotar as redes neurais com interpretabilidade linguística.

	Redes Neurais	Sistemas Difusos
Representação de conhecimento	Implícito. Não é facilmente interpretável ou alterável	Explícito. Interpretável e fácil de modificar.
Aprendizagem	Aprende a partir de dados	Não tem capacidade de aprendizagem. Conhecimento é definido <i>a priori</i> .

21

Sistemas Neuro-Difusos

(Tipo III) Inferência de Takagi e Sugeno:

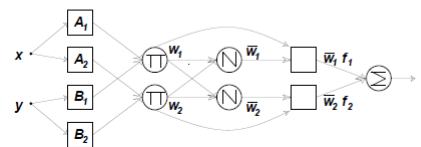
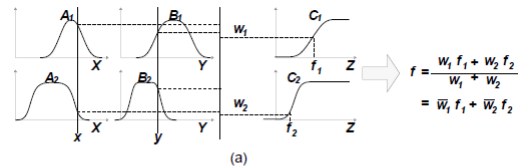


22

Sistemas Neuro-Difusos

ANFIS - Adaptive Network Fuzzy Inference System (Jang, 93)

Tipo I

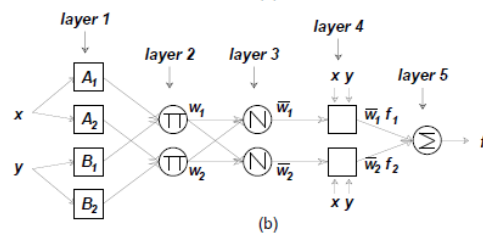
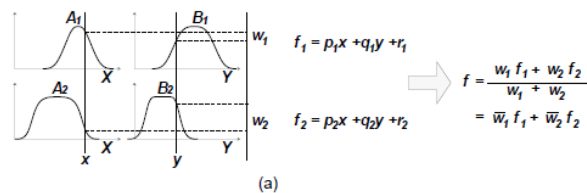


23

Sistemas Neuro-Difusos

• ...

Tipo III



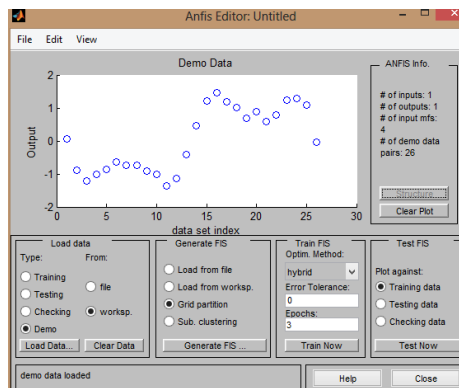
24

Sistemas Neuro-Difusos

Algoritmos de Aprendizagem para o modelo ANFIS:

- Método do Gradiente, tal como as redes neuronais.
- Métodos Híbridos: combinam a técnica do gradiente com técnicas lineares ou “clustering”.
Analogia com redes neuronais RBF.

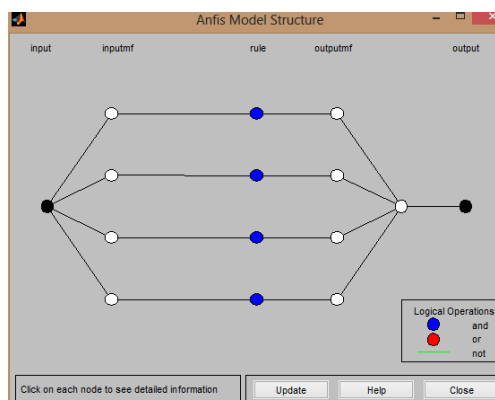
- Matlab
 >> anfisedit



25

Sistemas Neuro-Difusos

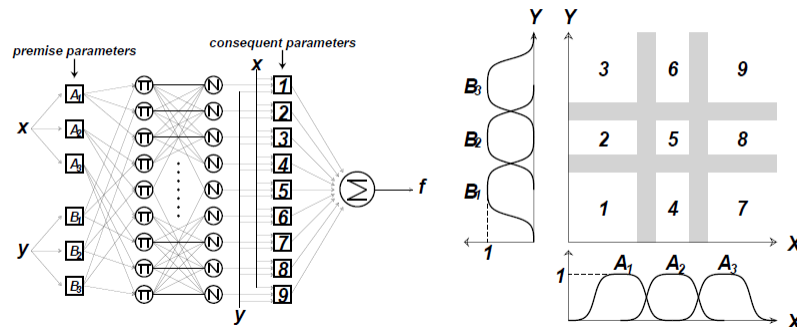
- ...



26

Sistemas Neuro-Difusos

- Sistema com 2 entradas, nove regras (tipo III) e “subespaços” difusos correspondentes:



27

References

- Computational Intelligence, Andries Engelbrecht, Caps. 20,21
- Matlab Fuzzy Logic Toolbox
- Jang, J-SR. "ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system." *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics* 23.3 (1993): 665-685.
- <https://pythonhosted.org/scikit-fuzzy/>
- <https://github.com/twmeggs/anfis>

28