

---

# Sistemas Neuro-Fuzzy

Flávio J. de Souza  
DEE-PUC/RJ  
DESC/UERJ

---

## Roteiro

- ◆ Introdução;
- ◆ Particionamentos dos SNF;
- ◆ Aprendizado de um SNF;
- ◆ Exemplos de SNF.

## Sistemas Neuro-Fuzzy (SNF)

---

### ◆ Idéia Básica

Implementar um Sistema de Inferência Fuzzy através de uma arquitetura paralela distribuída de tal forma que os paradigmas de aprendizado, comuns às Redes Neurais, possam ser aproveitados nessa arquitetura híbrida.

## Características dos SNF

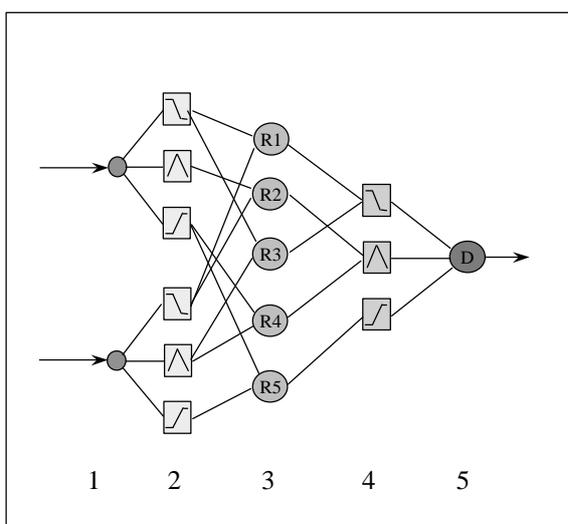
---

- ◆ São sistemas híbridos que combinam técnicas de redes neurais e sistemas de inferência fuzzy.
- ◆ Associam a capacidade de aprendizado das redes neurais (R.N.), sua tolerância a falhas e a interpretabilidade dos sistemas fuzzy (F.S.).
- ◆ São encarados por alguns pesquisadores como caixas cinza (gray box).

## Principais Motivações dos SNF

- ◆ Permitem a integração de conhecimentos:
  - implícito (conjunto de dados);
  - explícito (preliminar, proveniente de experts).
- ◆ Extração de conhecimento sob formato de regras fuzzy.
- ◆ Aplicações diversas em:
  - controle, previsão, reconhecimento de padrões, classificação, diagnósticos, aprox. de funções.

## Uma arquitetura NF



### Camadas

- 1 - Entradas
- 2- Fuzzyficação das entradas (pesos fuzzy)
- 3- Regras
- 4- Consequentes das regras
- 5- Defuzzificação

## Limitações do SNF

---

- Pequeno número de entradas  
“Curse of dimensionality”
- Criação da própria estrutura de forma limitada ou inexistente
- Funções não diferenciáveis (mínimo)
- Problemas de convergência

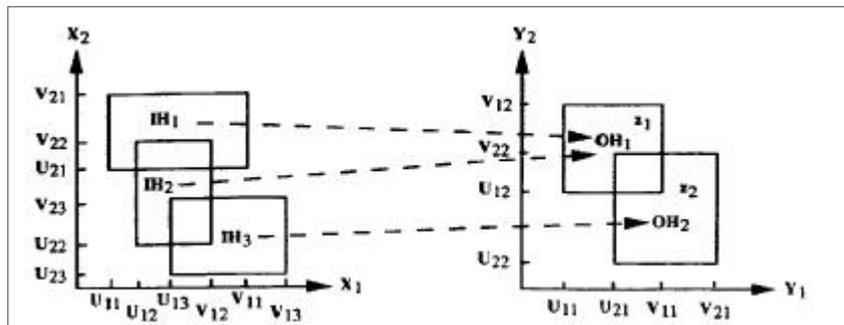
## Roteiro

---

- ◆ Introdução;
- ◆ Particionamentos dos SNF;
- ◆ Aprendizado de um SNF;
- ◆ Exemplos de SNF.

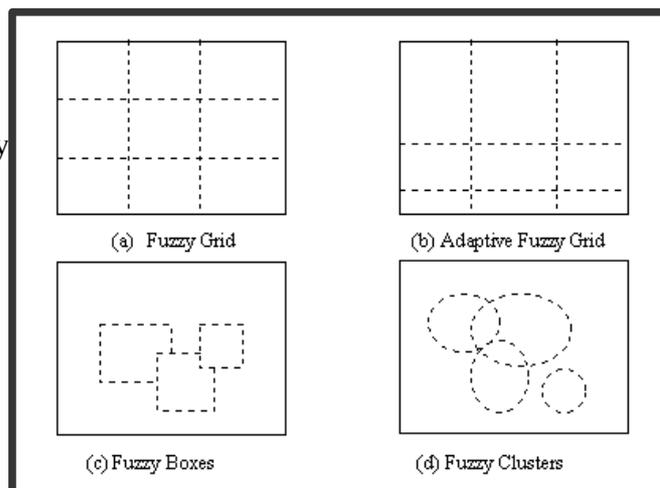
## Mapeamento entre E/S de um SNF

- ◆ Um SNF mapea regiões fuzzy de entrada em regiões fuzzy de saída através das regras.
- ◆ Essas regiões são definidas no processo de particionamento dos espaços de E/S.

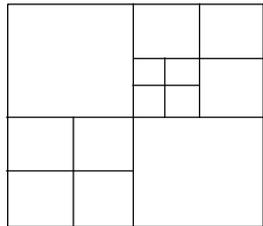


## Particionamento de E/S

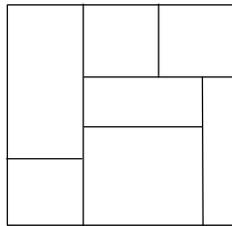
- ◆ Fuzzy Grid
- ◆ Adaptive Fuzzy Grid
- ◆ Fuzzy Boxes
- ◆ Fuzzy Clusters



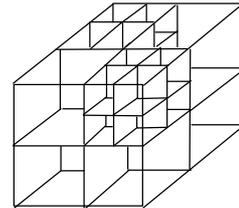
## Particionamentos Recursivos



◆ Quadtree



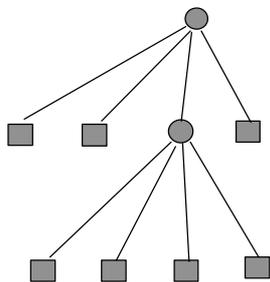
◆ BSP  
(K-d tree, HV)



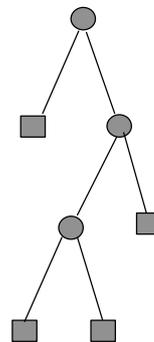
◆ Octree

## Representação dos partic. recursivos

◆ Árvore Quadtree



◆ Árvore BSP



## Roteiro

---

- ◆ Introdução;
- ◆ Particionamentos dos SNF;
- ◆ Aprendizado de um SNF;
- ◆ Exemplos de SNF.

## Aprendizado de um SNF

---

- ◆ Pode ser dividido em duas partes principais:
  - identificação da estrutura;
  - ajuste dos parâmetros;

## Identificação da Estrutura

---

- ◆ definir particionamentos dos espaços de E/S;
- ◆ gerar as regras do sistema;

## Ajuste dos Parâmetros

---

- ◆ Ajuste dos conseqüentes
  - MQO, GD, outros
- ◆ Ajuste dos antecedentes
  - LVQ, GD, outros
- ◆ Ajuste dos pesos das regras
  - GD, outros

## Roteiro

---

- ◆ Introdução;
- ◆ Particionamentos dos SNF;
- ◆ Aprendizado de um SNF;
- ◆ Exemplos de SNF.

## Exemplos de SNF

---

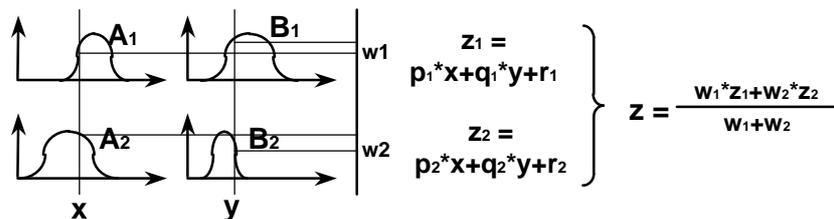
- ◆ ANFIS
- ◆ NEFCLASS
- ◆ FSOM
- ◆ NFH (NFHB/NFHQ)

## ANFIS (Jang)

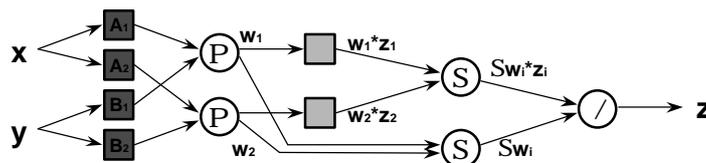
- Adaptive Network based Fuzzy Inference System
- Jyh-Shing Roger Jang / 93
- Particionamento : Fuzzy Grid Adaptativo
- Treinamento em dois passos:
  - 1- Fixa conseq. e ajusta antec. por GD.
  - 2- Fixa anteced. e ajusta conseq. por MQO.
- Conseq. do tipo de Sugeno de ordem 0 e 1.

## Arquitetura ANFIS

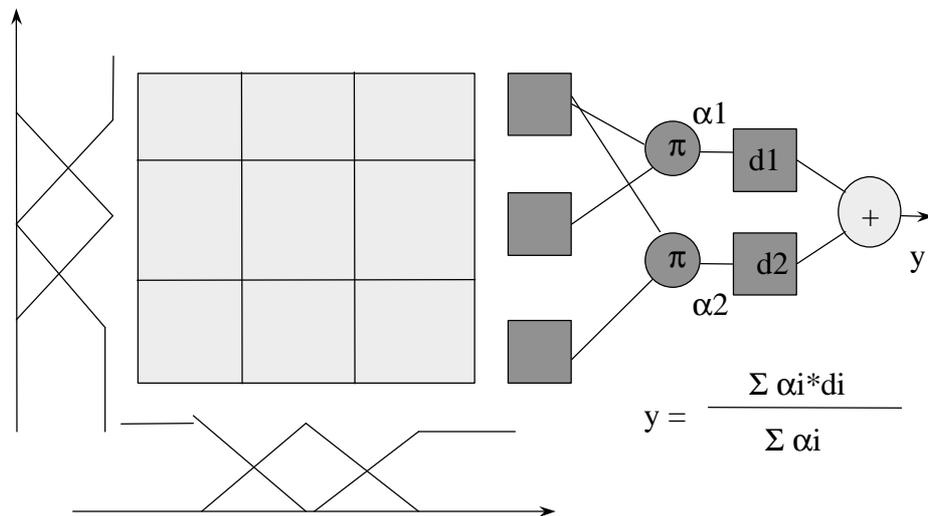
### • Fuzzy reasoning



### • ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System)



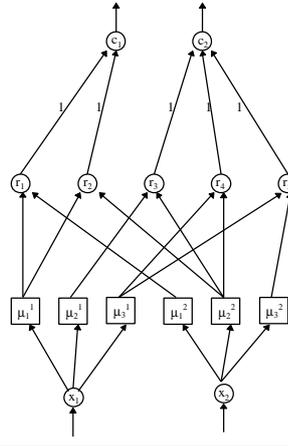
## Arquitetura ANFIS



## NEFCLASS (Nauck)

- NEuro-Fuzzy CLASSification
- Detlef Nauck / 94
- Particionamento Fuzzy Grid Adaptativo
- Treinamento: Ajusta apenas os antecedentes com BP; Não há conseq. a ajustar

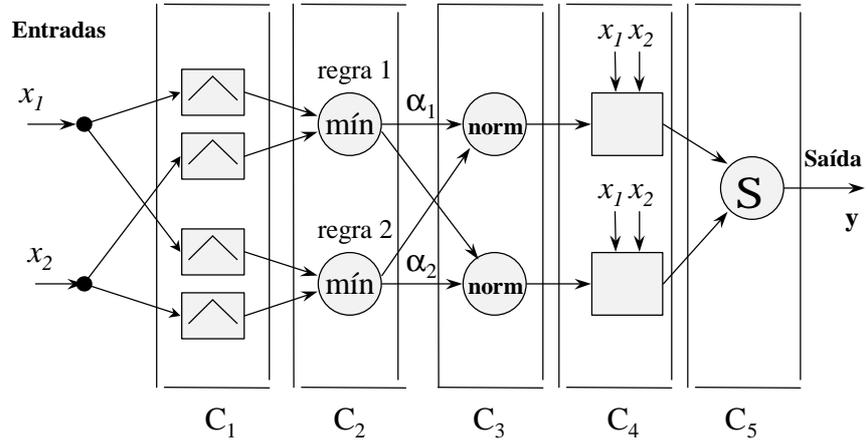
## Arquitetura NEFCLASS



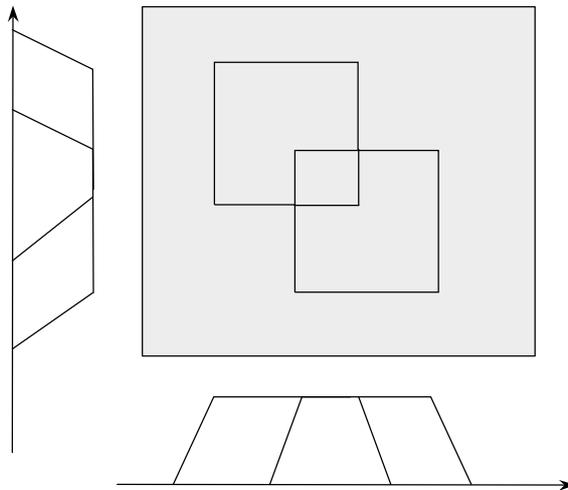
## FSOM (Vuorimaa)

- Fuzzy Self Organized Map
- Petri Vuorimaa / 96
- Particionamento Fuzzy Boxes
- Treinamento: Usa o algoritmo LVQ para ajuste dos antecedentes e BP para ajuste dos conseq.

## Arquitectura FSOM



## Arquitectura FSOM



## NFH (Souza)

---

- Neuro-Fuzzy Hierárquico
- F.J. de Souza / 97-98
- Particionamento Recursivo (Hierárquico)
- Treinamento: Ajuste dos conseq. e anteced por GD, ou anteced. por GD e conseq. por MQO. Estrutura criada automaticamente pelo algoritmo de aprendizado
- Dois modelos : NFHQ e NFHB