

Sistemas Nebulosos (Fuzzy)

- Introdução
- Benefícios da Lógica Nebulosa
- Conjuntos Nebulosos
- Variáveis Linguísticas
- Operadores
- Sistemas Nebulosos (Fuzzy)
- Raciocínio
- Etapas
- Conclusão

Introdução

- Surgiu com *Lofti Zadeh* em 1965.
- O *boom* foi nos anos 80, no Japão.
- Lógica *Fuzzy* é uma nova forma de pensamento sobre o mundo.
- É uma técnica baseada em graus de verdade.
 - os valores 0 e 1 ficam nas extremidades
 - inclui os vários estados de verdade entre 0 e 1

Introdução

- O conhecimento humano é incerto, incompleto ou impreciso.
- Especialistas
 - Senso comum para resolver problemas
 - Impreciso, inconsistente, incompleto, vago
“Embora o transformador esteja um pouco carregado, pode-se usá-lo por um tempo”
 - Nenhum problema para outro especialista, mas sim para o EC
- Lógica Fuzzy:
 - Idéia: todas as coisas admitem graus (temperatura, altura, velocidade, distância, etc...)

Benefícios da Lógica Nebulosa

- Permite soluções mais eficientes para problemas tratados com técnicas não-fuzzy.
 - Ex.: Regra para seguir a trajetória de um submarino ou outro objeto lento. – Se o *objeto estava numa determinada posição em certo instante de tempo, ele não deve estar muito distante desta posição no próximo instante de tempo.*
- Reduz o tempo de desenvolvimento.
- Modela sistemas não-lineares complexos.
- Sistemas avançados precisam de menos *chips* e sensores.

Complexidade e Compreensão

- *Zadeh* percebeu que a complexidade do sistema vem de como as variáveis foram representadas e manipuladas.
 - *Zadeh* representa o raciocínio humano em termos de conjuntos fuzzy.
- Princípio de Zadeh:**
“Quando a complexidade do problema cresce, nossa habilidade para tornar as proposições precisas diminui até um limiar que está fora do nosso alcance. Isto torna a precisão e a relevância duas características incompatíveis.”

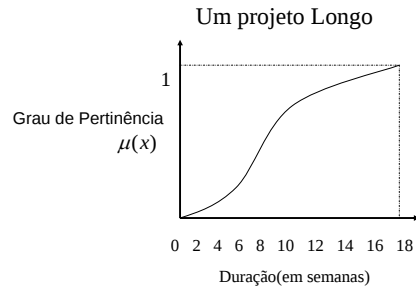
Probabilidade e Possibilidade

- 80% dos pacientes com dor de dentes têm cáries
 - Uma probabilidade de 0.8 *não significa “80% verdade”* mas sim um *grau de crença de 80% na regra*
- *Mário é alto*
 - A proposição é verdadeira para uma altura de Mario 1.65m ?
 - ...mais ou menos....
 - Observar que *não há incerteza*, estamos *seguros da altura de Mario*
- O termo linguístico “alto” é vago, como interpretá-lo?
- Por exemplo, a teoria de conjuntos Fuzzy (semântica para lógica fuzzy) permite especificar quão bem um objeto satisfaz uma descrição vaga (predicado vago)
 - O grau de pertinência de um objeto a um conjunto fuzzy é representado por algum número em [0,1]

Conjuntos Nebulosos

- São funções que mapeiam o valor que poderia ser um membro do conjunto para um número entre 0 e 1.
- O grau de pertinência 0 indica que o valor não pertence ao conjunto.
- O grau 1 indica que o valor é uma representação completa do conjunto.
- Um conjunto *fuzzy* indica com qual grau um projeto específico é membro do conjunto de projetos LONGOS.
- A definição do que é um projeto LONGO depende do contexto.

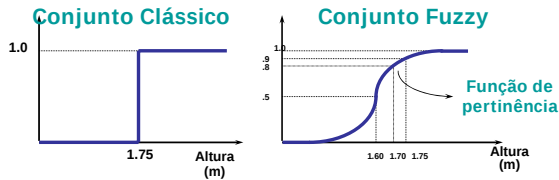
Conjuntos Nebulosos



Teoria dos Conjuntos Fuzzy

- Conjuntos com limites imprecisos

A = Conjunto de pessoas altas

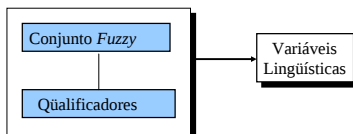


Variáveis Linguísticas

- É o centro da técnica de modelagem de sistemas *fuzzy*.
- Uma variável linguística é o nome do conjunto *fuzzy*.
- Pode ser usado num sistema baseado em regras para tomadas de decisão.
- Exemplo: *if projeto.duração is LONGO then risco is AUMENTADO.*
- Transmitem o conceito de qualificadores (*hedges*).
- Qualificadores mudam a forma do conjunto *fuzzy*.

Variáveis Linguísticas

- Algumas variáveis linguísticas do conjunto LONGO com qualificadores:
 - muito LONGO
 - um tanto LONGO
 - ligeiramente LONGO
 - positivamente não muito LONGO



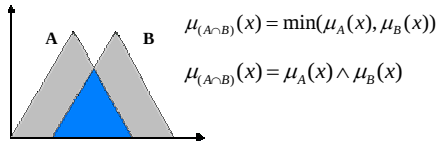
Variáveis Linguísticas

- Permitem que a linguagem da modelagem *fuzzy* expresse a semântica usada por especialistas.
- Exemplo:
 - If projeto.duração is positivamente não muito LONGO then risco is reduzido um pouco*
- Encapsula as propriedades dos conceitos imprecisos numa forma usada computacionalmente.
- Reduz a complexidade do problema.
- Sempre representa um espaço *fuzzy*.

Operadores dos Conjuntos Nebulosos

- Intersecção

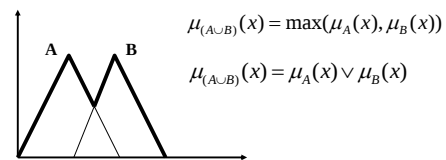
Sejam X conjunto de pontos, A e B conjuntos contidos em X e $\forall x \in X$.



Operadores dos Conjuntos Nebulosos

- União

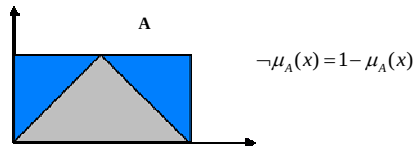
Sejam X conjunto de pontos, A e B conjuntos contidos em X e $\forall x \in X$.



Operadores dos Conjuntos Nebulosos

- Complemento

Sejam X conjunto de pontos, A um conjunto contido em X e $\forall x \in X$.



Operadores dos Conjuntos Nebulosos

- Em conjuntos *Fuzzy*,
 $\mu(\neg A \cup A) \neq \mu(TRUE)$ e $\mu(\neg A \cap A) \neq \mu(FALSE)$,
 o que não satisfaz a teoria dos conjuntos clássica.
- Considere $\mu(A) = 1/2$,
 $\mu(\neg A \cup A) = \max(\neg \mu(A), \mu(A))$
 $= \max(1 - 1/2, 1/2)$
 $= 1/2 \neq 1$
 $\mu(\neg A \cap A) = \min(\neg \mu(A), \mu(A))$
 $= \min(1 - 1/2, 1/2)$
 $= 1/2 \neq 0$

Sistemas Nebulosos

- Externamente são menos complexos e mais fáceis de entender.
- Os problemas são rapidamente isolados e fixados, reduzindo o tempo de manutenção.
- Requisitam menos regras, por isso o tempo médio entre as falhas diminui.

Sistemas Nebulosos

- Possuem grande habilidade para modelar sistemas comerciais altamente complexos.
 - sistemas convencionais tem dificuldade em resolver problemas não-lineares complexos.
- São capazes de aproximar o comportamento do sistema
 - porque apresentam várias propriedades não-lineares e pouco compreensíveis.

Sistemas Nebulosos

- Benefícios para os especialistas:
 - habilidade em codificar o conhecimento de uma forma próxima a linguagem usada por eles.
- Mas o que faz uma pessoa ser um especialista?
 - é a capacidade em fazer diagnósticos ou recomendações em termos imprecisos.
- Sistemas *Fuzzy* capturam uma habilidade próxima do conhecimento do especialista.
- O processo de aquisição do conhecimento é:
 - mais fácil,
 - mais confiável,
 - menos propenso a falhas e ambigüidades.

Sistemas Nebulosos

- É capaz de modelar sistemas envolvendo múltiplos especialistas.
- Nos sistemas do mundo real, há vários especialistas sob um mesmo domínio.
- Representam bem a cooperação múltipla, a colaboração e os conflitos entre os especialistas.
- Um exemplo das posições dos gerentes de controle, de produção, financeiro e *marketing*.
 - Nosso preço deve ser baixo.
 - Nosso preço deve ser alto.
 - Nosso preço deve ser em torno de 2*custo
 - Se o preço dos concorrentes não é muito alto então nosso preço deve ser próximo do preço deles.

Sistemas Nebulosos

- Devido aos seus benefícios, como:
 - regras próximas da linguagem natural
 - fácil manutenção
 - simplicidade estrutural
- Os modelos baseados em sistemas *Fuzzy* são validados com maior precisão.
- A confiança destes modelos cresce.

Sistemas Nebulosos

- Sistemas especialistas convencionais são modelados a partir da:
 - probabilidade *Bayesiana*
 - algumas fatores de confiança ou certeza.
- Ambas alternativas confiam na transferência de valores incertos fora do próprio modelo.
- Sistemas *Fuzzy* fornecem a sistemas especialistas um método mais consistente e matematicamente forte para manipulação de incertezas.

Sistemas Nebulosos

- Um exemplo de sistema especialista baseado em regras simples para prever o peso de uma pessoa:
 - *If altura > 1.65 and altura < 1.68 then peso is 60, CF = .082*
- O mesmo exemplo baseado lógica *Fuzzy*:
 - *if altura is ALTA then peso is PESADO*

Raciocínio Nebulosos

- Nos sistemas especialista convencionais:
 - as proposições são executadas seqüencialmente
 - heurísticas e algoritmos são usados para reduzir o número de regras examinadas.
- Nos sistemas especialistas *Fuzzy*:
 - o protocolo de raciocínio é um paradigma de processamento paralelo
 - todas as regras são disparadas

Etapas do Raciocínio

1ª FUZZIFICAÇÃO

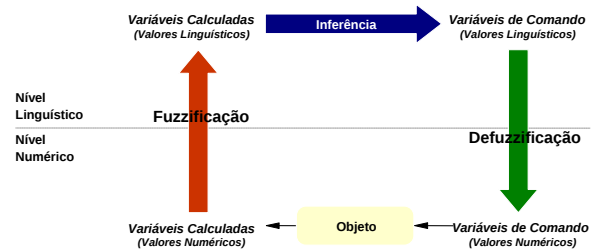
AGREGAÇÃO

2ª INFERÊNCIA

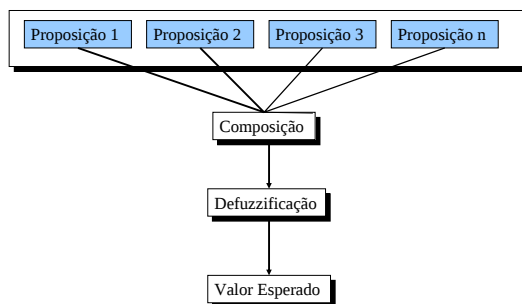
COMPOSIÇÃO

3ª DEFUZZIFICAÇÃO

Etapas do Raciocínio



Etapas do Raciocínio



Fuzzificação e Certeza

- Lógica Fuzzy é um cálculo de compatibilidade. Ela trabalha com a descrição das características das propriedades ;
- Lógica Fuzzy x Probabilidade ;
- Descreve características que variam continuamente, associando partes dos valores a significados semânticos ;
- Poder relacionado a existência de *overlap*;
- Representa uma medida de pertinência de um elemento a um conjunto Fuzzy;
- Não acaba com o tempo. É uma propriedade intrínseca de um evento ou objeto.

Fuzzificação e Imprecisão

Por que imprecisão:

- Ela existe devido a nossa incoerência em compreender um fenômeno do mundo real.
- Ferramentas baseadas na visão formalizada de Aristóteles.

O que dizer da seguinte declaração:

O CARRO ESTÁ RÁPIDO

Fuzzificação e Imprecisão

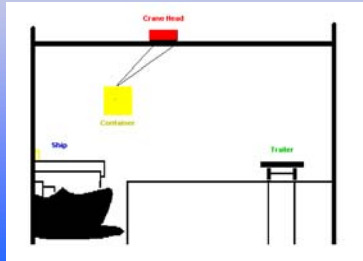
O CARRO ESTÁ RÁPIDO

O que significa rápido?

A qual conjunto rápido pertence?

Modelo Dependente do Contexto

Exemplo: Guindaste para container

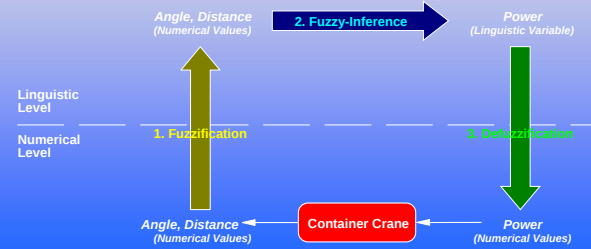


Duas variáveis de medida e uma variável de comando!

Elementos Básicos de um Sistema de Lógica Fuzzy

Loop de controle do Guindaste de Container controlado por Lógica Fuzzy:

Fechando o "loop" com palavras!



Fuzzificação

- Etapa no qual as variáveis linguísticas são definidas de forma subjetiva, bem como as funções membro (funções de pertinência).

Engloba:

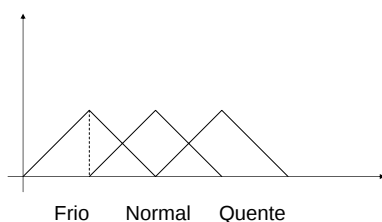
Análise do Problema;
Definição das Variáveis;
Definição das Funções de Pertinência; e
Criação das Regiões.

Fuzzificação

- Na definição das funções de pertinência para cada variável, diversos tipos de espaço podem ser gerados.
- Os mais comuns são: Triangular, Trapezoidal, Singleton e Shouldered

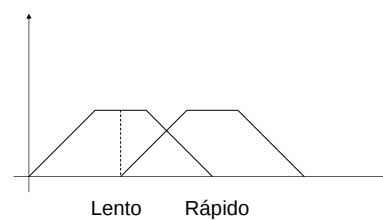
Fuzzificação

TRIANGULAR:



Fuzzificação

TRAPEZOIDAL:

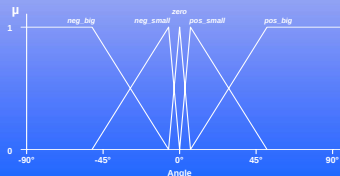


1. Fuzzificação: Variáveis Linguísticas

Definição de termos:

Ângulo := {pos_grande, pos_pequeno, zero, neg_pequeno, neg_grande}

Definição de função de pertinência:

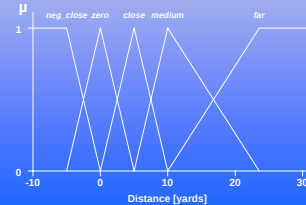


1. Fuzzificação: Variáveis Linguísticas(Cont.)

Definição de termos:

Distância := {longe, média, perto, zero, neg_perto}

Definição de função de pertinência:

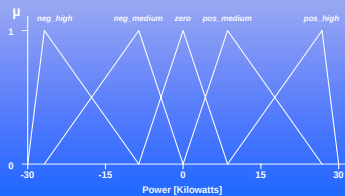


1. Fuzzificação: Variáveis Linguísticas(Cont.)

Definição de termos:

Potência := {pos_alta, pos_média, zero, neg_média, neg_alta}

Definição de função de pertinência:



1. Fuzzificação: Variáveis Linguísticas(Cont.)

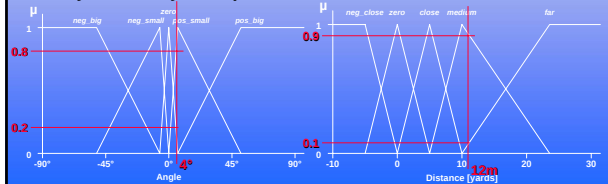
Definição de termos:

Distância := {longe, média, perto, zero, neg_perto}

Ângulo := {pos_grande, pos_pequeno, zero, neg_pequeno, neg_grande}

Potência := {pos_alta, pos_média, zero, neg_média, neg_alta}

Definição de função de pertinência:



Inferência

- Etapa na qual as proposições (regras) são definidas e depois são examinadas paralelamente.

Engloba:

Definição das proposições;

Análise das Regras; e

Criação da região resultante.

Inferência

- O mecanismo chave do modelo Fuzzy é a proposição.

- A proposição é o relacionamento entre as variáveis do modelo e regiões Fuzzy

- Na definição das proposições, deve-se trabalhar com:

PROPOSIÇÕES CONDICIONAIS
PROPOSIÇÕES NÃO CONDICIONAIS

Inferência

- PROPOSIÇÕES CONDICIONAIS:
if W is Z then X is Y
- PROPOSIÇÕES NÃO-CONDICIONAIS:
X is Y

2. Inferência Fuzzy: Regras "IF-THEN"

Implementação das regras "IF-THEN":

- #1: IF Distância = média AND Ângulo = pos_pequeno THEN Potência = pos_média
- #2: IF Distância = média AND Ângulo = zero THEN Potência = zero
- #3: IF Distância = longe AND Ângulo = zero THEN Potência = pos_média
- #4: IF Distância = longe AND Ângulo = pos_pequeno THEN Potência = pos_média
- ✳ Agregação: Cálculo da parte do "IF"
- ✳ Composição: Cálculo da parte do "THEN"

As regras do sistema de Lógica Fuzzy são as "Leis" que ele executa!

2. Inferência Fuzzy: Agregação

Lógica Booleana somente define operadores para 0/1:



Lógica Fuzzy fornece uma extensão contínua:

- ✳ AND: $\mu_{A \wedge B} = \min\{\mu_A; \mu_B\}$
- ✳ OR: $\mu_{A \vee B} = \max\{\mu_A; \mu_B\}$
- ✳ NOT: $\mu_{\neg A} = 1 - \mu_A$

Agregação da parte do "IF":

- #1: $\min\{0.9; 0.8\} = 0.8$
- #2: $\min\{0.9; 0.2\} = 0.2$
- #3: $\min\{0.1; 0.2\} = 0.1$
- #4: $\min\{0.1; 0.8\} = 0.1$

Agregação calcula quão "apropriado" cada regra é para a situação corrente!

2. Inferência Fuzzy: Composição

Resultado para a variável linguística Potência:

- pos_média com grau 0.8 (= $\max\{0.8; 0.1; 0.1\}$)
- zero com grau 0.2

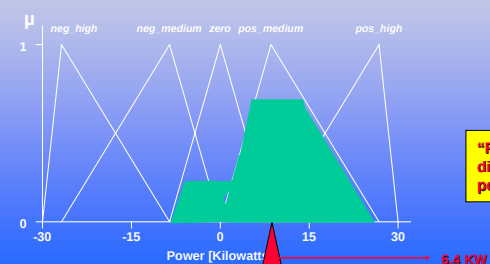
Composição calcula o quanto cada regra influencia as variáveis de saída!

Defuzzificação

- Etapa no qual as regiões resultantes são convertidas em valores para a variável de saída do sistema;
- Esta etapa corresponde a ligação funcional entre as regiões Fuzzy e o valor esperado;
- Dentre os diversos tipos de técnicas de defuzzificação destacamos:
Centróide, First-of-Maxima, Middle-of-Maxima e Critério Máximo.

3. Defuzzificação

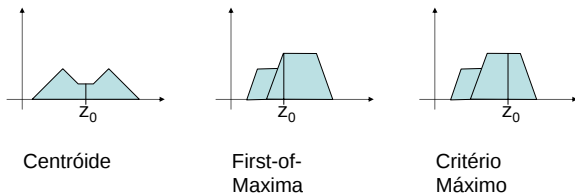
Encontrando um resultado usando "Centro-de-gravidade":



"Resultado discreto para a potência"

Defuzzificação

Exemplos:



Outro exemplo

Objetivo do sistema: um analista de projetos de uma empresa que determina o risco de um determinado projeto.

Depende da quantidade de dinheiro e de pessoas envolvidas no projeto (variáveis de entrada)

Base de conhecimento (regras)

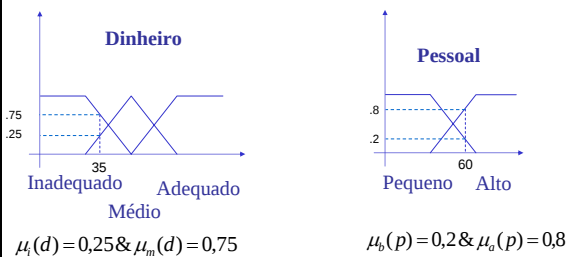
R1 - Se dinheiro é adequado ou pessoal é pequeno então risco é pequeno

R2 - Se dinheiro é médio e pessoal é alto, então risco é normal

R3 - Se dinheiro é inadequado, então risco é alto

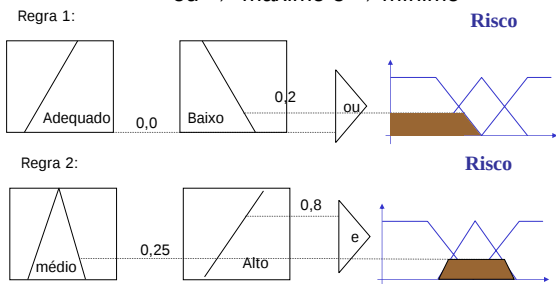
Outro exemplo

- Passo 1: Fuzzificar



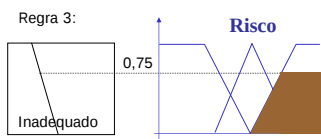
Outro exemplo

- Passo 2: Avaliação das regras
- ou $\rightarrow$ máximo e $\rightarrow$ mínimo



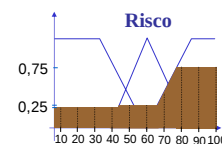
Outro exemplo

- Passo 2: Avaliação das regras



Outro exemplo

- Passo 3: Defuzzificação



$$C = \frac{(10+20+30+40)*0,2 + (50+60+70)*0,25 + (80+90+100)*0,75}{0,2+0,2+0,2+0,2+0,25+0,25+0,25+0,75+0,75+0,75} = \frac{267,5}{3,8} = 70,4$$

Lógica Fuzzy no Mundo

- Lógica *Fuzzy* tornou-se tecnologia padrão e é também aplicada em análise de dados e sinais de sensores;
- Também utiliza-se lógica fuzzy em finanças e negócios;
- Aproximadamente 1100 aplicações bem sucedidas foram publicadas em 1996; e
- Utilizada em sistemas de Máquinas Fotográficas, Máquina de Lavar Roupas, Freios ABS, Ar Condicionado e etc.

Conclusão

Lógica *Fuzzy* é uma importante ferramenta para auxiliar a concepção de sistemas complexos, de difícil modelagem, e pode ser utilizada em conjunto com outras tecnologias de ponta, como é o caso da combinação entre Lógica *Fuzzy* e Redes Neurais Artificiais.

Bibliografia

- Cox, E. *The Fuzzy Systems Handbook*;
- Kartalopoulos, S. V. *Understanding Neural Networks and Fuzzy Logic*. IEEE PRESS, 1996;
- Kosko, B. *Fuzzy Engineering*. Prentice-Hall, 1997;
- Fullér, R. *Neural Fuzzy Systems*. Dissertação de Mestrado, Abo 1995