1 Título

Estudo e desenvolvimento de simuladores de aterrizagem de aeronaves utilizando lógica *fuzzy*.

2 Aptidão

Um *Automatic Landing System* (ALS) pode ser denominado como um meio para guiar e controlar uma aeronave automaticamente a partir de uma estimação inicial de altitude para um ponto onde um contato seguro é feito com a superfície de pouso. Esses sistemas fornecem não só orientação como também fornecem o controle da aeronave, incluindo informações sobre a velocidade e a posição da aeronave em relação ao terreno abaixo dela.

3 Descrição do Problema

Este projeto tem por objetivo principal implementar um sistema de piloto automático para pouso (*Automatic Landing System*). Os ALS tiveram inicio na Grã-Bretanha adotados pela Royal Air Force em meados da década de 40 [3] onde a baixa visibilidade ocasionada pelo inverno europeu e o considerável aumento da poluição industrial resultava em muitos acidentes na fase de aterrissagem. O desenvolvimento prosseguiu e em 1955 foi adotada pela *International Civil Aviation Organization* (ICAO) para uso no aeródromo civil da Grã-Bretanha e no exterior.

Atualmente várias pesquisas [2, 5, 6, 7, 8] visam aprimorar o desempenho de um ALS utilizando técnicas de Inteligência Artificial (IA), essas pesquisas visam aperfeiçoar o processamento dos dados recebidos pelo *Instrument Landing System* (ILS) para melhorar a qualidade do pouso em diversas situações aceitáveis ou não, como por exemplo, falta de visibilidade, tempestades e vórtices de ventos.

4 Lógica Fuzzy

A noção de conjuntos fuzzy foi concebida por Zadeh em [9], o foco era estabelecer um meio de tratar problemas de carater subjetivo com informações vagas e imprecisas de maneira formal e também lidar com problemas nos quais há dados numéricos e conhecimento na forma linguistica.

Um conjunto fuzzy é caracterizado por uma *função de pertinência* também conhecida por *função de compatibilidade*, que associa a cada elemento do universo de discurso um número no intervalo real [0,1], apartir dessa função de pertinência podemos dizer o quanto determinado elemento pertence ao seu universo de discurso. Desta forma a lógica fuzzy se

distancia da lógica clássica, também conhecida como lógica Aristotélica, onde determinado elemento tem caráter binário (bivalente): o elemento pertence ($x \in A$) ou não pertence ($x \notin A$) ao conjunto.

4.1 Notação

Seja A um conjunto e x um elemento qualquer do conjunto A. Podemos representar a pertinência de x em A da seguinte maneira: $\mu_A(x) : x \to [0,1], x \in A$, onde $\mu_A(x)$ é a função de pertinencia para o elemento x. Segundo [1], um conjunto fuzzy pode ser representado das seguintes formas:

$$A = \{(x_1, \mu_A(x_1)), (x_2, \mu_A(x_2)), ..., (x_i, \mu_A(x_i))\}$$
$$\text{ou}$$
$$A = \{\frac{\mu_A(x_1)}{x_1}, \frac{\mu_A(x_2)}{x_2}, ..., \frac{\mu_A(x_i)}{x_i}\}$$

4.2 Conjuntos

A *teoria de conjuntos* é de fato o elemento chave para formulação das inferências *fuzzy*. A teoria de conjuntos *fuzzy* é baseada no fato de que os conjuntos existentes no mundo real não possuem limites precisos. Um conjunto *fuzzy* é um agrupamento impreciso e indefinido, onde a transição de não-pertinência para pertinência é gradual, não abrupta.

4.2.1 Subconjuntos

Seja F um conjunto e S um subconjunto de $F : S \subset F$.

Exemplo 1

Considere os seguintes conjuntos:

$$Veiculos = \{Carro, Moto, Iate, Barco, Canoa, Bicicleta\};$$
$$Aquatico = \{Iate, Barco, Canoa\};$$

A função de pertinência para o subconjunto *Aquatico* em relação a cada elemento do conjunto $Veiculo$

$$\mu_v(Carro) = 0; \mu_v(Moto) = 0; \mu_v(Iate) = 1; \mu_v(Barco) = 1; \mu_v(Canoa) = 1; \mu_v(Bicicleta) = 0.$$

4.2.2 Igualdade

Dois conjuntos *fuzzy* são ditos iguais ($F = S$) sse $\forall\ x \subset F$ e $y \subset S$, $x = y$.

4.2.3 Conjunto Vazio

Um conjunto *fuzzy* é vazio ($F = \emptyset$) *sse* sua função de pertinência é nula em $x \ \forall \ x \in F$.

4.2.4 Suporte

Um subconjunto de F para o qual $\mu_F(x) > 0$.

4.2.5 Normalidade

Um conjunto *fuzzy* é dito normal se o suporte não é vazio.

4.2.6 Ponto de Cruzamento (*Crossover Point*)

Um elemento de F o qual sua função de pertinência é 0.5, $x \in \{x \mid \mu_F(x) = 0.5\}$.

4.2.7 Partição

São conjuntos *fuzzy* que juntos definem um universo de discurso.

4.2.8 Variáveis Linguisticas

Uma variável linguistica u no Universo de discurso, é definida como um nome (*ex: temperatura*) ou possíveis valores *fuzzy* (*ex: frio, quente, nem frio nem quente*) os quais são rótulos de conjuntos *fuzzy*.

4.3 Operações em Conjuntos

Diferente da lógica clássica que é composta apenas pela lógica *booleana*, utilizando os conectivos E, OU e NÃO, na lógica *fuzzy* há diversas operações lógicas com diversos operadores divididos em duas classes: *normais triangulares* e *normais duais*.

4.3.1 União

A união é o conjunto de todos os elementos x que pertencem ou ao conjunto F, ou ao conjunto S, ou a ambos F e S.

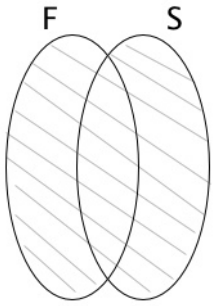

Figura 1: União dos conjuntos F e S ($\mu_F \vee \mu_S$)

A pertinência do conjunto U resultante de $F \cup S$ pode ser definida como: $\mu_U(x) = \max(\mu_F(x), \mu_S(x))$

4.3.2 Intersecção

Define-se a intersecção $F \cap S$ como o conjunto de todos os elementos que são membros de ambos conjuntos F e S.

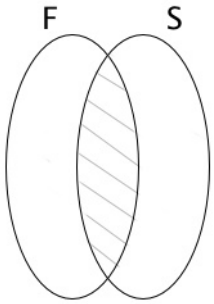

Figura 2: Intersecção dos conjuntos F e S ($\mu_F \wedge \mu_S$)

A pertinência do conjunto U resultante de $F \cap S$ é definida como: $\mu_U(x) = \min(\mu_F(x), \mu_S(x))$

4.3.3 Complemento

Seja F um conjunto em um universo de discurso E, o complemento de F (F') é um conjunto de elementos $x \in E$ que não são pertencentes a F.

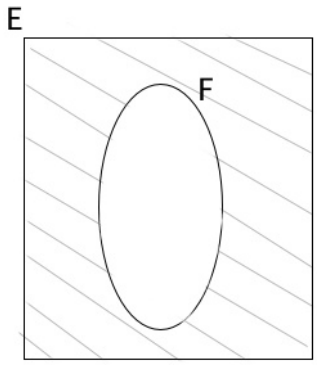

Figura 3: Complemento do conjunto F($\neg\mu_F$)

A pertinência do conjunto F' pode ser definida como: $\mu_{F'}(x) = 1 - \mu_F(x)$

4.4 Propriedade dos Conjuntos Fuzzy

Além das possíveis combinações em conjuntos *fuzzy* (União, Intersecção e Complemento), temos também regras de execução de operações em conjuntos. Essas regras são úteis para simplificar, demonstrar e utilizar as propriedades de conjuntos *fuzzy*. Propriedades aplicáveis a conjuntos booleanos também são aplicáveis aos conjuntos *fuzzy*:

Propriedade Comutativa:
$A \cup B = B \cup A$
$A \cap B = B \cap A$

Propriedade Associativa:
$(A \cup B) \cup C = A \cup (B \cup C)$
$(A \cap B) \cap C = A \cap (B \cap C)$

Propriedade Distributiva:
$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$
$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$

Idempotência:
$A \cap A = A$
$A \cup A = A$

Involução:
$(A')' =$ A

Transitividade:
$A = B$ e $B = C$ então $A = C$

Teorema de Morgan:
$(A \bar{\cap} B) = \bar{A} \cup \bar{B}$
$(A \bar{\cup} B) = \bar{A} \cap \bar{B}$

4.5 Funções de Pertinência

Suponhamos a classificação das pessoas pela sua altura [4], em uma abordagem clássica, poderiamos afirmar que indivíduos altos são aqueles que possuem estatura igual ou superior a 2 m. Segundo essa abordagem, podemos afirmar que uma pessoa com 2.01 m é alta e que uma pessoa com 1.97 m não pertence ao conjunto das pessoas altas. Percebe-se que esta abordagem não condiz com a realidade, contudo, utilizando a concepção de pertinência, pode-se atribuir valores decrescentes de pertinência a medida que a estatura reduz: $\mu_A(2) = 1; \mu_A(1.95) = 0.9; \mu_A(1.80) = 0.6; \mu_A(1.70) = 0.3$. Neste caso as pessoas com altura de 1.95 m teriam um alto grau de pertinência no conjunto das pessoas altas enquanto uma pessoa com 1.70 m teria uma pertinência menor neste conjunto.

4.5.1 Função Gama γ

$\gamma(\mu, \alpha, \beta)$

$= 0, \mu \leq \alpha$
$= \frac{(\mu-\alpha)}{(\beta-\alpha)}, \alpha < \mu \leq \beta$
$= 1, \mu > \beta$

A figura 4 representa o gráfico da função gama.

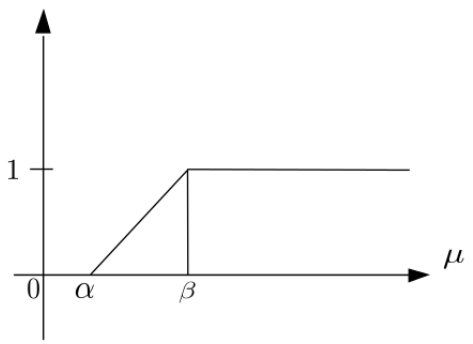

Figura 4: Gráfico da Função Gama γ

4.5.2 Função S

$S(\mu, \alpha, \beta, \gamma)$

$= 0, \mu \leq \alpha$
$= 2[\frac{\mu-\alpha}{\gamma-\alpha}]^2, \alpha < \mu \leq \beta$
$= 1 - 2[\frac{\mu-\gamma}{\gamma-\alpha}]^2, \beta < \mu \leq \gamma$
$= 1, \mu > \gamma$

A figura 5 representa o gráfico da função S.

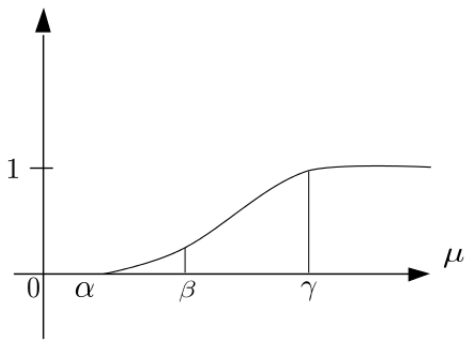

Figura 5: Gráfico da Função S

4.5.3 Função Triangular Λ

$\Lambda(\mu, \alpha, \beta, \delta)$

$= 0, \mu \leq \alpha$
$= \frac{(\mu-\alpha)}{(\beta-\alpha)}, \alpha < \mu \leq \beta$
$= \frac{(\alpha-\mu)}{(\beta-\mu)}, \beta < \mu \leq \gamma$
$= 0, \mu > \gamma$

A figura 6 representa o gráfico da função triangular.

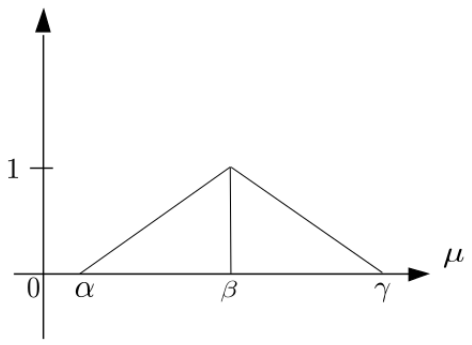

Figura 6: Gráfico da Função Triangular Λ

4.5.4 Função Π

$\Pi(\mu, \alpha, \beta, \delta)$

$= 0, \mu \leq \alpha$
$= \frac{(\mu-\alpha)}{(\beta-\alpha)}, \alpha < \mu \leq \beta$
$= 1, \beta < \mu \leq \gamma$
$= \frac{(\gamma-\mu)}{(\delta-\gamma)}, \gamma < \mu \leq \delta$
$= 0, \mu > \delta$

A figura 7 representa o gráfico da função Π.

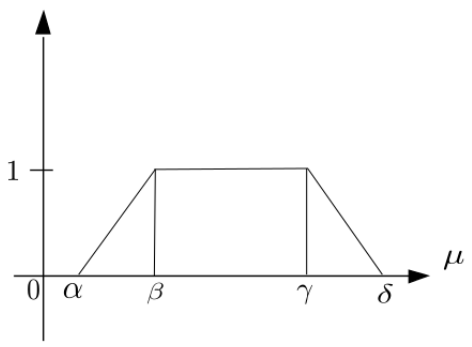

Figura 7: Gráfico da Função Π

4.5.5 Função Gaussiana

$G(x, c, \sigma)$

$= e^{\frac{-1}{2}(\frac{x-c}{\sigma})^2}$

A figura 8 representa o gráfico da função gaussiana.

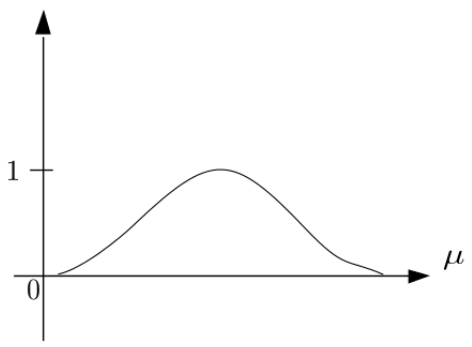

Figura 8: Gráfico da Função Gaussiana

4.6 Extensão (Mapeamento)

Considere os seguintes conjuntos *fuzzy*:

$$A = \{\frac{\mu_A(x_1)}{x_1}, \frac{\mu_A(x_2)}{x_2}, ..., \frac{\mu_A(x_i)}{x_i}\}$$
$$B = \{\frac{\mu_A(y_1)}{y_1}, \frac{\mu_A(y_2)}{y_2}, ..., \frac{\mu_A(y_i)}{y_i}\}$$

Apartir dos conjuntos A e B poderemos inferir um mapeamento *um para um* onde $\mu_A(xn) = \mu_B(yn)$ ou um mapeamento de *vários para um*, onde $\mu_B(yi) = \max[\mu_A(xj) : xj \in f^{-1}(yi)]$

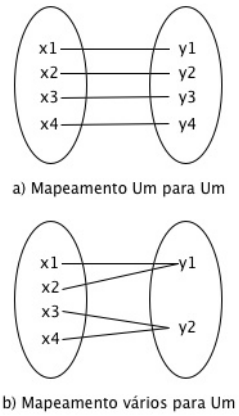

Figura 9: Mapeamento a) um para um, b) vários para um

4.7 Relações *Crisp*

O produto cartesiano de dois conjuntos é determinado por: $X \times Y = \{(x, y)|x \in X, y \in Y\}$. A relação *crisp* $\mu_B(x, y)$ é dada por:

$$\mu_B(x, y) = \Big\{1, (x, y) \in X \times Y \text{ ou } 0, (x, y) \notin X \times Y\Big\}$$

Onde 1 representa que existe relação e 0 representa que não existe relação. Se os conjuntos forem finitos será representado por uma matriz R chamada de *matriz de relação*.

4.8 Composição

Dada a composição de dois conjuntos distintos e relacionáveis, podemos gerar uma matriz de relação entre os conjuntos. Um conjunto é relacionável *sse* quando representado em sua forma matricial, satisfaçam as propriedades de multiplicação de matrizes onde a quantidade de colunas da matriz B deve ser igual a quantidade de linhas da matriz A

A relação *fuzzy* $R(x, y)$ é dada por:

$$R(x, y) = \Big\{\frac{\mu_R(x,y)}{(x,y)}|(x, y) \in X \times Y\Big\} \text{ onde X, Y são conjuntos universais.}$$

4.8.1 Composição $\max - \min$

$\mu_T(x,s) = \max\left(\min(\mu_R(x,y), \mu_S(i,j))\right)$

Exemplo 2

Considere 3 relações $R1 = X \times Y$, $R2 = Y \times Z$ e $R3 = R1 \circ R2 = \left\{\frac{\mu_{R3}(x,z)}{(x,z)}\right\}$, onde: $\mu_{R3}(x,y) = \max\{\min(\mu_{R1}(x,y), \mu_{R2}(y,z))\}\ \forall\ x \in X, y \in Y$ e $z \in Z$

As matrizes abaixo, representam a pertinência para cada conjunto:

$$\mathbf{R1} = \begin{array}{c|c|c|} & \text{y} \rightarrow & \\ \text{x} & 0.1 & 0.2 \\ \downarrow & 0.4 & 0.5 \\ & 0.7 & 0.8 \end{array}$$

$$\mathbf{R2} = \begin{array}{c|c|c|} & \text{y} \rightarrow & \\ \text{x} & 0.9 & 0.8 \\ \downarrow & 0.7 & 0.6 \end{array}$$

Logo, $R3$ é dada por:

$$\begin{array}{c|c|c|} \text{y} \rightarrow & & \\ \text{x} & \max(\min(0.1,0.9),\min(0.2,0.7)) & \max(\min(0.1,0.8),\min(0.2,0.6)) \\ \downarrow & \max(\min(0.4,0.9),\min(0.5,0.7)) & \max(\min(0.4,0.8),\min(0.5,0.6)) \\ & \max(\min(0.7,0.9),\min(0.7,0.7)) & \max(\min(0.7,0.8),\min(0.8,0.6)) \end{array}$$

$$\mathbf{R3} = \begin{array}{c|c|c|} & \text{y} \rightarrow & \\ \text{x} & 0.2 & 0.2 \\ \downarrow & 0.5 & 0.5 \\ & 0.7 & 0.6 \end{array}$$

4.8.2 Composição $\max$ Produto

$\mu_B(y) = \max\left(\mu_A(x) * \mu_R(x,y)\right)$

Exemplo 3

Considere 3 relações $R1 = X \times Y$, $R2 = Y \times Z$ e $R3 = R1 \circ R2 = \left\{\frac{\mu_{R3}(x,z)}{(x,z)}\right\}$, análogamente ao Exemplo 2, no entanto R3 é dada por: $\mu_{R3}(x,y) = \max\{\mu_{R1}(x,y) * \mu_{R2}(y,z))\}\ \forall\ x \in X, y \in Y$ e $z \in Z$

$$\mathbf{R1} = \begin{array}{c|c|c|} & \text{y} \rightarrow & \\ \text{x} & 0.1 & 0.2 \\ \downarrow & 0.4 & 0.5 \\ & 0.7 & 0.8 \end{array}$$

$$\mathbf{R2} = \begin{array}{c|c|c|} & \text{y} \rightarrow & \\ \text{x} & 0.9 & 0.8 \\ \downarrow & 0.7 & 0.6 \end{array}$$

Logo, $R3$ é dada por:

$$\begin{array}{c|c|c|} \text{y} \rightarrow & & \\ \text{x} & \max((0.1 * 0.9), (0.2 * 0.7)) & \max((0.1 * 0.8), (0.2 * 0.6)) \\ \downarrow & \max((0.4 * 0.9), (0.5 * 0.7)) & \max((0.4 * 0.8), (0.5 * 0.6)) \\ & \max((0.7 * 0.9), (0.7 * 0.7)) & \max((0.7 * 0.8), (0.8 * 0.6)) \end{array}$$

$$\mathbf{R3} = \begin{array}{c|c|c|} & \text{y} \rightarrow & \\ \text{x} & 0.14 & 0.12 \\ \downarrow & 0.36 & 0.32 \\ & 0.63 & 0.42 \end{array}$$

4.8.3 Projeção

Uma relação *fuzzy* R é usualmente definida por um espaço catesiano $X \times Y$. Muitas vezes a projeção dessas relações para cada conjunto X ou Y pode se tornar uma ótima informação para o processamento.

1. A projeção de $R(x, y)$ em X é denotada por $R1$ e é dada por: $\mu_{R1}(x) = \max(\mu_R(x, y)), y \in Y$

2. A projeção de $R(x, y)$ em Y é denotada por $R2$ e é dada por: $\mu_{R2}(y) = \max(\mu_R(x, y)), x \notin X$

4.9 Regras de Base

O conhecimento em geral é convenientemente expressado pela linguagem natural. A regra de base é uma maneira de representar o conhecimento utilizando a linguagem natural. Uma forma genérica da regra de base é:

Se (Premissa) Então (Consequente ou Conclusão)

Tipicamente expressado como uma inferência de que se é conhecido um fato, pode-se interferir ou derivar outro fato.

As informações *fuzzy* podem ser representadas na forma de regras de base ou consistir em um conjunto de regras do tipo Se Então, por exemplo:

Regra 1: SE $x = A$ ENTÃO $y = B$, onde A e B são conjuntos *fuzzy*.

Agora, considerando uma nova regra:

Regra 2: SE $x = A'$ ENTÃO $y = B'$

Da regra 1 deriva-se a regra 2. O consequente B' pode ser encontrado na composição $B' = A' \circ R$, onde R é uma matriz de relação.

4.10 Implicações *Fuzzy*

A implicação da regra 1 pode ser formalmente denotada como:

$R_i(x, y) = \left(\frac{\mu_{Ri}(x,y)}{(x,y)}\right)$

Onde a função de petinência μ_{R1} é construida utilizando regras SE p ENTÃO q $(p \rightarrow q)$ onde p e q são preposições *fuzzy*.

4.10.1 Implicação Dienes-Rescher

$P \rightarrow Q$ onde P é uma proposição verdadeira e Q é uma proposição falsa não pode ser definida, i.e, $P \wedge \neg Q$, assim, segundo [1], a matriz relacional pode ser definida da seguinte forma:

$$\mu_R(x, y) = \max[1 - \mu_A(x), \mu_B(y)]$$

4.10.2 Implicação Mamdani

Se $P \rightarrow Q$ implicar que $P \wedge Q$ é uma fórmula verdadeira, segundo [1], a matriz relacional pode computada utilizando:

$$\mu_{Ri}(x, y) = \min(\mu_A(x), \mu_B(y))$$
$$\text{ou}$$
$$\mu_{Ri}(x, y) = \mu_{Ai}(x)\mu_{Bi}(y)$$

Mamdani é comumente utilizada pela engenharia, por exemplo:

Regra 1: SE a temperatura é quente ENTÃO o ventilador trabalhará rápido.

Essa regra não impica que se a temperatura estiver baixa o vetilador terá de trabalhar lento.

4.10.3 Implicação Zadeh

Se $P \to Q$ implicar que P e Q são preposições verdadeiras ou que P é uma preposição falsa ($P \to Q = (P \wedge Q) \vee (\neg Q)$), segundo [1], a matriz relacional pode ser computada por:

$$\mu_R(x, y) = \max[\min(\mu_{Ai}(x), \mu_{Bi}(y)), 1 - \mu_{Ai}(x)]$$

4.11 Inferência Composicional

Existem diferentes regras para composições *fuzzy* do tipo $B = A \circ R$, onde B é o consequente de A (SE A ENTÃO B).

$\max - \min$
$\mu_B(y) = \max(\min(\mu_A(x), \mu_R(x, y))), x \in X$

$\min - \max$
$\mu_B(y) = \min(\max(\mu_A(x), \mu_R(x, y))), x \in X$

$\min - \min$
$\mu_B(y) = \min(\min(\mu_A(x), \mu_R(x, y))), x \in X$

$\max - produto$
$\mu_B(y) = \max(\mu_A(x) * \mu_R(x, y)), x \in X$

$\max - \max$
$\mu_B(y) = \max(\max(\mu_A(x), \mu_R(x, y))), x \in X$

Por exemplo:

SE x é A ENTÃO y é B onde $A = \{\frac{0.2}{1}, \frac{0.5}{2}, \frac{0.7}{3}\}$ e $B = \{\frac{0.6}{5}, \frac{0.8}{7}, \frac{0.4}{9}\}$

Inferimos B' por esta regra: SE x é A' ENTÃO y é B', onde

$A' = \{\frac{0.5}{1}, \frac{0.9}{2}, \frac{0.3}{3}\}$

Utilizando a implicação de Mamdani ($\min(\mu_A(x), \mu_B(y))$), obtemos a seguinte matriz de relação:

$$\mathbf{R} = \begin{array}{c|c|c|c|} \text{y} \to & & & \\ \text{x} & 0.2 & 0.2 & 0.2 \\ \downarrow & 0.5 & 0.5 & 0.4 \\ & 0.6 & 0.7 & 0.4 \end{array}$$

Utilizando a composição $\max - \min$, obtemos B' por meio de $A' \circ R = \{\frac{0.5}{5}, \frac{0.5}{7}, \frac{0.4}{9}\}$

5 Objetivos

Este projeto tem como objetivos principais:

- O estudo da Lógica *Fuzzy* como ferramenta de desenvolvimento de um sistema inteligente;
- O estudo de técnicas de aterrissagem baseado em regras de inferência;
- Comparar o produto final deste projeto com outros produtos já desenvolvidos, assim como compartilhar os resultados obtidos com o fim de auxiliar em pesquisas e desenvolvimentos futuros.

6 Resultados Esperados

Entre os resultados esperados ao fim desse projeto, destaca-se:

- Definição e formalização do conceito de lógica *fuzzy* aplicada ao escopo deste projeto;
- Desenvolvimento de um sistema funcional;
- Aplicação do algoritmo gerado em um aeromodelo funcional.

7 Descrição de Produtos

7.1 Produtos de PFC 1

Como produto de PFC 1, será elaborado a proposta do projeto e um breve resumo a metodologia a ser utilizada no mesmo.

7.2 Produtos de PFC 2

Como produto de PFC 2 será redigido um artigo o qual será submetido a um periódico com Qualis em Ciência da Computação. A aplicação do algoritmo e a monografia também estão inclusos como produto de PFC 2.

8 Metodologia

A metodologia empregada abrange aspectos relativos ao aprendizado, levantamento e estudo bibiográfico, assim como experimentação e desenvolvimento de técnicas.

I) Levantamento bibliográfico. Compreende coletar e selecionar artigos, teses, dissertações e livros relacionados à pesquisa. Esse levantamento acontecerá no início do projeto e perdurará durante todo o período de desenvolvimento do PFC.

II) Estudo de métodos de avaliação de sistemas inteligentes. Compreende basicamente o estudo e entendimento de medidas de desempenho de sistemas inteligentes.

III) Estudo de métodos de *ALS*. Serão estudados os principais métodos *Auto Landing Systems*.

IV) Experimentação e comparações de métodos de *ALS* da literatura. Compreende implementar algum método de ALS da literatura, e experimentá-los em vários testes simulados.

V) Desenvolvimento de um método *ALS*. Através da comparação de métodos de ALS existentes, pretendemos identificar os melhores métodos e, se possível, propor melhorias.

VIII) Elaboração do produto de PFC 1. Esta etapa consiste em preparar e apresentar o produto de PFC 1.

IX) Elaboração do produto de PFC 2. Etapa final do projeto visando a elaboração e submissão de artigo(s).

X) Elaboração da monografia. Compreende a escrita e entrega da monografia.

Referências

[1] L. Behera and I. Kar. *Intelligent Systems and Control: Principles and Applications.* Oxford University Press, 2009.

[2] N. C. Coelho and P. S. Da Silva. Sistema de piloto automático para pouso de aeronave utilizando controladores mfa. In *XI SBAI*, Universidade Federal do Ceará, 2013.

[3] Fuller J. *SAFETY WAS NO ACCIDENT: History of the UK Civil Aviation Flying Unit CAFU 1944 -1996.* Trafford Publishing, 2012.

[4] J.S.R. Jang, C.T. Sun, and E. Mizutani. *Neuro-fuzzy and soft computing : a computational approach to learning and machine intelligence.* Prentice Hall, 1997.

[5] E. Lakovic and D. Lotinac. Aircraft landing control using fuzzy logic and neural networks. In *IRCSE*, Mälardalen University, Sweden, 2010.

[6] SMB Malaek, HA Izadi, and Mehrdad Pakmehr. Intelligent autolanding controller based on neural networks. In *Proceeding of 1st African Control Conference (AFCON2003)*, pages 3–5, Cape-Town, South Africa, 2003.

[7] K. David Solomon Raj and Goutham Tattikota. *Design of Fuzzy Logic Controller for Auto Landing Applications.* International Journal of Scientific and Research Publications, 2013.

[8] K Kashyap Sudesh and G Girija. Fuzzy controller for aircraft auto-landing. In *UKIERI Workshop*, IIT Bombay, India, 2010.

[9] L. A. Zadeh. Fuzzy sets. information and control. 8:338–353, 1965.