

1 Metodologia

Todo o trabalho foi desenvolvido em ambiente simulado, utilizando o *software* Matlab®. Primeiramente, foram representados no Simulink® dois sistemas de quadricóptero seguindo a modelagem proposta por Balas (2007): ambos submetidos a uma gravidade $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ e com comprimento de cada haste $l = 0,5 \text{ m}$. Os dois sistemas diferem entretanto na massa do quadricóptero modelado em cada caso: $m = 2,3 \text{ kg}$ e $m = 5 \text{ kg}$.

O sistema com massa $m = 2,3 \text{ kg}$ foi então utilizado para mostrar o desacoplamento das entradas e a instabilidade do sistema. Para tanto, o modelo foi submetido a sinais em pulso em cada uma de suas entradas. Então, a partir da resposta do sistema a essas entradas, foram modelados dois controladores *fuzzy* para estabilizar a atitude e altitude do quadricóptero. Para tanto, foi utilizada a ferramenta *Fuzzy Logic Toolbox* do Matlab®.

A partir dos controladores *fuzzy* desenvolvidos e utilizando a ferramenta *Neuro-Fuzzy Designer* também do Matlab® foram modelados dois controladores *neuro-fuzzy* para controlar a atitude e altitude do *drone*.

Os controladores *fuzzy* e *neuro-fuzzy* foram então comparados tanto para o sistema com massa de $m = 2,3 \text{ kg}$ quanto para o de $m = 5 \text{ kg}$. Os aspectos levados em conta para a comparação dos controladores foram:

- Variação apresentada;
- Tempo necessário para a estabilização;
- Oscilação;
- Sobrelevação apresentada;
- Gasto energético apresentado pelos controladores.

Por fim, o sistema com massa $m = 2,3 \text{ kg}$, para o qual os controladores foram desenvolvidos, foi submetido a um cenário que envolve ruídos de medição para verificar se o controle implementado se mostra robusto.

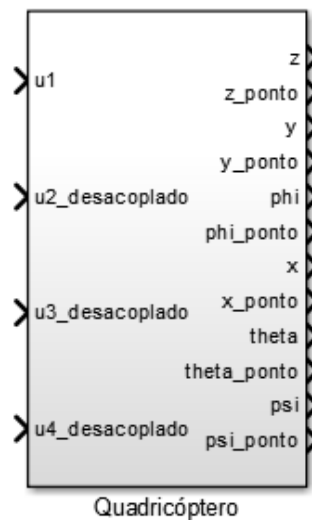
2 Desenvolvimento do Trabalho

Este capítulo trata da forma como o trabalho foi desenvolvido de forma a aplicar a metodologia proposta, descrevendo os processos utilizados para a verificação do desacoplamento e instabilidade do sistema (Seção 2.1); a modelagem dos controladores *fuzzy* (Seção 2.2) e *neuro-fuzzy* (Seção 2.3); e a descrição detalhada dos experimentos realizados (Seção 2.4).

2.1 Verificação do Desacoplamento das Entradas

A representação do quadricóptero criada no Simulink® seguindo a modelagem de Balas (2007) é mostrada na Figura 1.

Figura 1 – Representação do quadricóptero no *Simulink*



2.2 Controladores Fuzzy

2.3 Controladores Neuro-Fuzzy

2.4 Experimentos Realizados

O primeiro experimento feito foi para mostrar a instabilidade do sistema, mostrando a resposta das variáveis relacionadas à atitude (ângulos ϕ e θ) e altitude (z) quando o sistema é submetido a um breve impulso em suas entradas, simulando qualquer força que possa atuar brevemente sobre o quadroter, como um golpe sofrido por

qualquer objeto que colida com ele. Após contextualizada a necessidade de controladores, passou-se à sua implementação e uso.

Uma vez projetados os controladores fuzzy e neuro-fuzzy, o sistema foi submetido a distúrbios em atitude e altitude para verificar o funcionamento deles sob condições similares às mostradas quando nenhum controle agia sobre ele fazendo com que o sistema divergisse.. Primeiramente, o comportamento de ambos os controladores foi verificado quando atuando sobre o sistema para os quais eles foram projetados, com $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, $m = 2,3 \text{ kg}$ e $l = 0,5 \text{ m}$.

Em seguida, para testar a robustez de cada controlador, foi feita uma simulação em que eles atuam sobre um sistema cuja massa do quadrotor é $m = 5 \text{ kg}$, valor este que foi escolhido por variar o parâmetro massa em mais de 100 %.

Os resultados obtidos são mostrados no capítulo seguinte.

Referências

BALAS, C. **Modeling and Linear Control of a Quadrotor**. Dissertação (Mestrado) — Cranfield University, Reino Unido, 2007. Citado 2 vezes nas páginas [1](#) e [2](#).

Apêndices

APÊNDICE A – Código para Criação de Modelo Neuro-Fuzzy para Altitude e Definição de Dados para Treinamento

```

1      % le arquivo fis referente ao controle de altitude
2      fismat = readfis('fis_altitude.fis');
3
4      % define numero de casos a serem avaliados (treinamento + teste)
5      n = 300;
6      % define conjunto de n entradas aleatorias para o sistema fuzzy
7      % respeitando o range de cada entrada
8      input = zeros(n,2);
9      for i=1:n
10         z_value = rand * 2 - 1;
11         z_dot_value = rand * 10 - 5;
12         input(i,:) = [ z_value z_dot_value ];
13     end
14
15     % avalia resposta fuzzy para cada entrada
16     output= evalfis(input,fismat);
17
18     % define data como vetor relacionando cada conjunto de entradas ...
19     % a saida
20     % - obtida pelo sistema fuzzy
21     data = [];
22     for i=1:n
23         data(i,:) = [ input(i,:) output(i) ];
24     end
25
26     % define que 2/3 dos dados obtidos serao usados para treinamento
27     % e 1/3 sera usado para teste da rede
28     train = data(1:2*n/3,:);    % dados para treinamento
29     test = data(2*n/3+1:n,:);  % dados para validacao do sistema ...
30     treinado
31
32     % gera modelo fuzzy Sugeno a partir do Mamdani modelado
33     sugFIS = mam2sug(fismat);
34     % salva modelo Sugeno em disco com o nome fis_altitude_neuro.fis
35     writefis(sugFIS, 'fis_altitude_neuro.fis');

```

APÊNDICE B – Código para Criação de Modelo Neuro-Fuzzy para Atitude e Definição de Dados para Treinamento

```

1      % le arquivo fis referente ao controle de atitude
2      fismat = readfis('fis_atitude.fis');
3
4      % define numero de casos a serem avaliados (treinamento + teste)
5      n = 300;
6      % define conjunto de n entradas aleatorias para o sistema fuzzy
7      % respeitando o range de cada entrada
8      input = zeros(n,2);
9      for i=1:n
10         phi_value = rand * 4 - 2;
11         phi_dot_value = rand * 3 - 1.5;
12         input(i,:) = [ phi_value phi_dot_value ];
13     end
14
15     % avalia resposta fuzzy para cada entrada
16     output= evalfis(input,fismat);
17
18     % define data como vetor relacionando cada conjunto de entradas ...
19     % a saída
20     % obtida pelo sistema fuzzy
21     data = [];
22     for i=1:n
23         data(i,:) = [ input(i,:) output(i) ];
24     end
25
26     % define que 2/3 dos dados obtidos serao usados para treinamento
27     % e 1/3 sera usado para teste da rede
28     train = data(1:2*n/3,:);    % dados para treinamento
29     test = data(2*n/3+1:n,:);  % dados para validação do sistema ...
30     treinado
31
32     % gera modelo fuzzy Sugeno a partir do Mamdani modelado
33     sugFIS = mam2sug(fismat);
34     % salva modelo Sugeno em disco com o nome fis_atitude_neuro.fis
35     writefis(sugFIS, 'fis_atitude_neuro.fis');

```