Simulink e Mecânica do Voo

Cálculo de saídas arbitrárias

Professores:
Flávio Ribeiro (flaviocr@ita.br)
Mauricio Morales (morales@ita.br)

Relembrando, os estados da dinâmica são...

$$X = \begin{bmatrix} u & v & w & p & q & r & \phi & \theta & \psi & x & y & H \end{bmatrix}^T$$

Algumas saídas (medidas) típicas fazem parte do vetor de estados:

- Altitude H;
- Velocidades angulares p, q, r;

Outras saídas devem ser calculadas a partir do vetor de estados:

- Ângulo de ataque e derrapagem;
- Velocidade aerodinâmica;
- Fator de carga;
- Aceleração normal em ponto arbitrário;
- Aceleração lateral;

Saídas aerodinâmicas

Relembrando, podemos calcular V, α e β em função de u, v e w ($+ u_w$,v_w,w_w no caso de presença de vento):

$$V_A = \sqrt{u_A^2 + v_A^2 + w_A^2}$$

$$\alpha_A = \arctan w_A / u_A$$

$$\beta_A = \arcsin v_A / V_A$$

onde

$$u_A = u - u_w$$

$$v_A = v - v_w$$

$$w_A = w - w_w$$

Fator de carga

O fator de carga é definido como a razão entre sustentação e peso:

$$n := \frac{L}{mg}$$

basta calcular a força de sustentação em função das variáveis de estado da aeronave *e variáveis de controle*...

Medições de acelerômetros

Acelerômetro em um ponto p mede:

$$\boldsymbol{a}'_p = \boldsymbol{a}_p - L_{B0}\boldsymbol{g}$$

onde $\boldsymbol{a}_p$ e $\boldsymbol{g}$ são, respectivamente, a aceleração inercial no ponto p e a aceleração da gravidade no mesmo ponto.
Se estiver no C.G., o acelerômetro mede:

$$\boldsymbol{a}'_p = \frac{\boldsymbol{F}_B + L_{B0} m \boldsymbol{g}}{m} - L_{B0}\boldsymbol{g} = \frac{\boldsymbol{F}_B}{m}$$

onde $\boldsymbol{F}_B$ é a soma das forças propulsivas e aerodinâmicas.
Para uma posição arbitrária, o acelerômetro mede:

$$\boldsymbol{a}'_p = \frac{\boldsymbol{F}_B}{m} + \dot{\boldsymbol{\omega}}_B \times \boldsymbol{r} + \boldsymbol{\omega}_B \times (\boldsymbol{\omega}_B \times \boldsymbol{r})$$

Linearização para obtenção de saída

Note que em geral as saídas são funções não lineares dos estados, controles e perturbações externas:

$$y = f(X, U, P)$$

Supondo que o movimento não se afasta muito do equilíbrio, podemos linearizar essa equação não-linear em torno de uma condição de equilíbrio:

$$\Delta y = C\Delta X + D\Delta U + D_P\Delta P$$

O procedimento é o mesmo feito para obter as matrizes A e B (ou seja, calcula-se as matrizes Jacobianas de $f(X, U, P)$ em relação a X, U e P.

Exercícios

a) Para a aeronave da aula prática 1, faça uma função de MATLAB cujas entradas sejam o vetor de estados, o vetor de controles e o vetor vento. As saídas dessa função devem ser: a velocidade aerodinâmica V_a, o ângulo de ataque α, o ângulo de derrapagem β, e o fator de carga n.

b) Linearize a função em torno de uma condição de equilíbrio, obtendo as matrizes C, D e D_W.