

PROJETO DE CONTROLE DO ÂNGULO DE UM HELICÓPTERO MILITAR DE ALTO DESEMPENHO UTILIZANDO ESTRUTURA VARIÁVEL E MODOS DESLIZANTES. Renata Monteiro Pascoal, Lizete Maria Crnkowise Fernandes Garcia, Giovana Miguel Zanella, Leandro José Cesini da Silva – Engenharia Elétrica – Engenharia Elétrica – Departamento de Matemática – Faculdade de Engenharia – Campus Ilha Solteira.

As estruturas de controle moderno têm desempenhado papel importante na melhoria da operação de vários sistemas físicos tais como: veículos espaciais, sistemas de direcionamento de mísseis, sistemas robóticos e similares. Por esse motivo, várias técnicas de controle vêm sendo desenvolvidas e estudadas ao longo dos anos. Neste contexto, o controle com estrutura variável e modos deslizantes em sistemas contínuos no tempo é bastante robusto em relação às incertezas e não-linearidades que possam estar presentes no sistema a ser controlado.

O sistema do helicóptero militar de alto desempenho apresenta instabilidade no que se refere ao seu ângulo de arfagem (que é o ângulo entre o eixo normal do helicóptero e a vertical). Durante as manobras que o piloto realiza, esse ângulo deixa de ser nulo. Uma vez que o piloto se posicione numa determinada direção, é interessante que esse ângulo retorne a zero para que movimento do helicóptero seja mais estável. Isso pode ser obtido controlando de maneira adequada o ângulo do rotor do helicóptero.

A figura abaixo apresenta os ângulos de interesse na modelagem do sistema, sendo δ o ângulo do rotor e θ o ângulo de arfagem do helicóptero e x é a translação na direção horizontal.

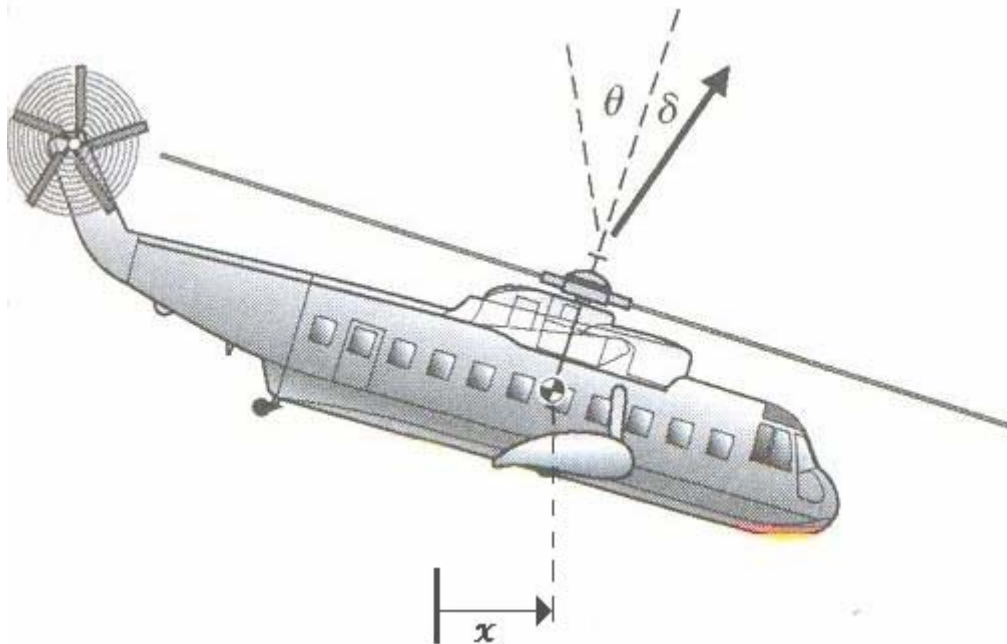


Figura 1: Esquema do problema do helicóptero.

A aplicação de técnicas de controle neste sistema, que tem sua dinâmica representada por equações diferenciais, possibilita uma enorme quantidade de informações a respeito de robustez da técnica de controle utilizada. As equações diferenciais que regem o sistema físico são apresentadas abaixo:

$$\ddot{\theta} = -\sigma_1 \dot{\theta} - \alpha_1 \dot{x} + n\delta \quad (1)$$

$$\ddot{x} = g\theta - \alpha_2 \dot{\theta} - \sigma_2 \dot{x} + g\delta \quad (2)$$

sendo que em um helicóptero militar de alto desempenho determina-se que

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= 0,415 & \alpha_1 &= 0,0111 & \eta &= 6,27 \\ \sigma_2 &= 0,0198 & \alpha_2 &= 1,43 & g &= 9,8\end{aligned}$$

Através das equações diferenciais que regem o problema físico, encontramos a representação do problema no espaço de estados. Para isso, fazemos a mudança de variáveis:

$$\begin{aligned}x_1 &= \theta \\ x_2 &= \dot{\theta} \\ x_3 &= x \\ x_4 &= \dot{x}\end{aligned}\tag{3}$$

Considerando θ como saída, temos

$$y = x_1\tag{4}$$

e desta forma a representação do sistema no espaço de estados é

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\sigma_1 & 0 & -\alpha_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ g & -\alpha_2 & 0 & -\sigma_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \eta \\ 0 \\ g \end{bmatrix} \delta\tag{5}$$

$$y = x_1\tag{6}$$

Utilizamos técnicas de controle com estrutura variável para controlar o ângulo de arfagem θ de um helicóptero militar de alto desempenho e, desta forma, aumentar a estabilidade do voo. Essas técnicas se baseiam em que os estados do sistema encontrem a superfície de deslizamento que é definida por

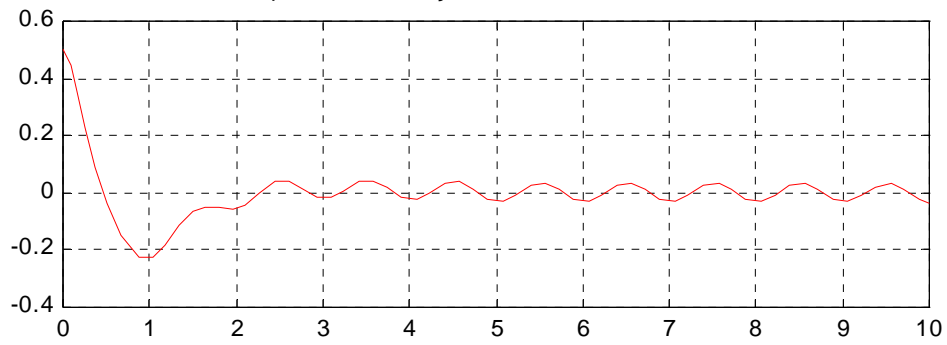
$$S = \{x \in \mathbb{R}^4 : s(x) = 0\}\tag{7}$$

onde

$$s(x) = Gx\tag{8}$$

é a função de deslizamento e $G \in \mathbb{R}^{1 \times 4}$. A matriz G deve ser projetada de forma que o sistema seja estável, mantendo os estados sobre a superfície de deslizamento dada pela equação (7). Utilizando ferramentas matemáticas, tais como os métodos de Lyapunov, e alocando os pólos do deslizamento de maneira adequada, construímos um programa capaz de obter a superfície de deslizamento no software Matlab. Utilizando a ferramenta Simulink, simulamos três situações de controle para que pudessem ser comparadas e, desta forma, constatar a eficácia do método de controle com estrutura variável e modos deslizantes. Considera-se também o caso quando há incertezas do tipo senoidal na planta. A seguir, apresentamos os resultados das simulações.

controle convencional por realimentação de estados: com influência das incertezas



superfície de deslizamento

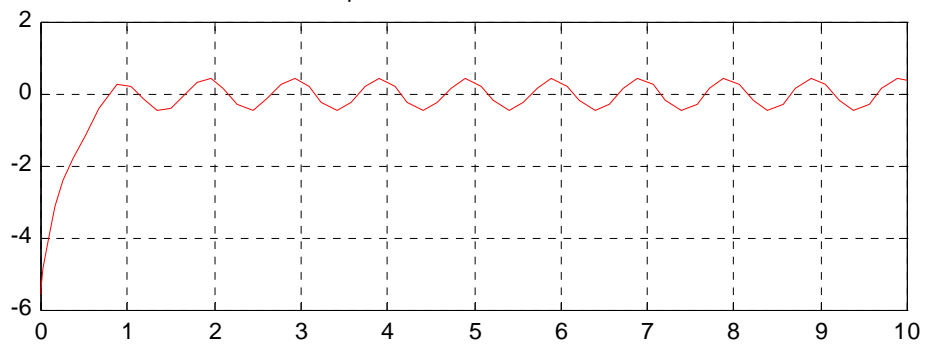
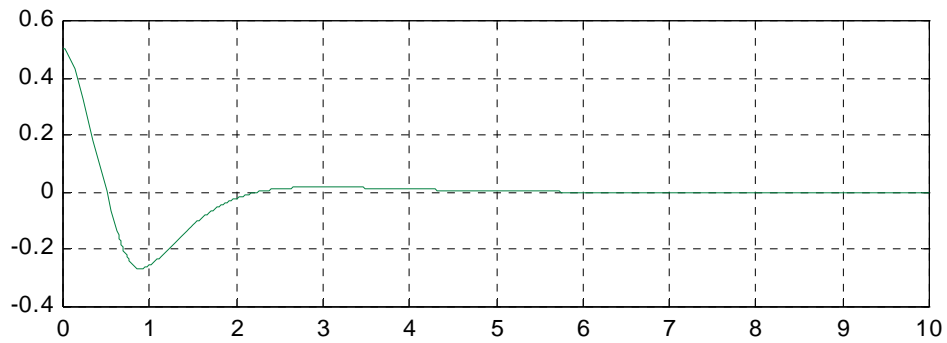


Figura 2: Controle Convencional com incertezas e superfície de deslizamento.

controle com estrutura variável: sem influência das incertezas



superfície de deslizamento

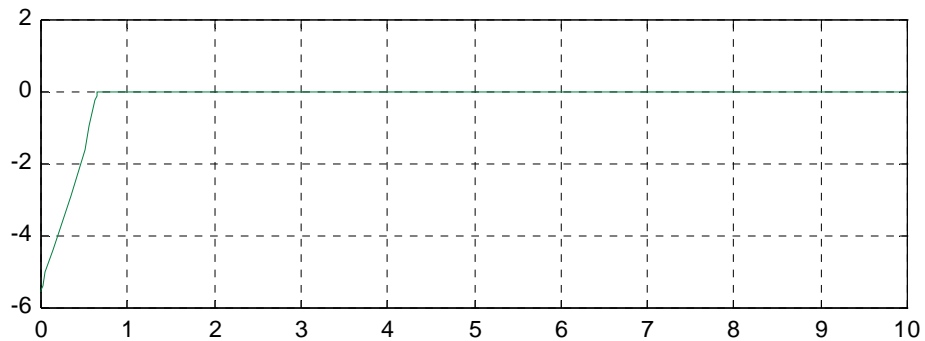


Figura 3: Controle com estrutura variável sem influência de incertezas e superfície de deslizamento.

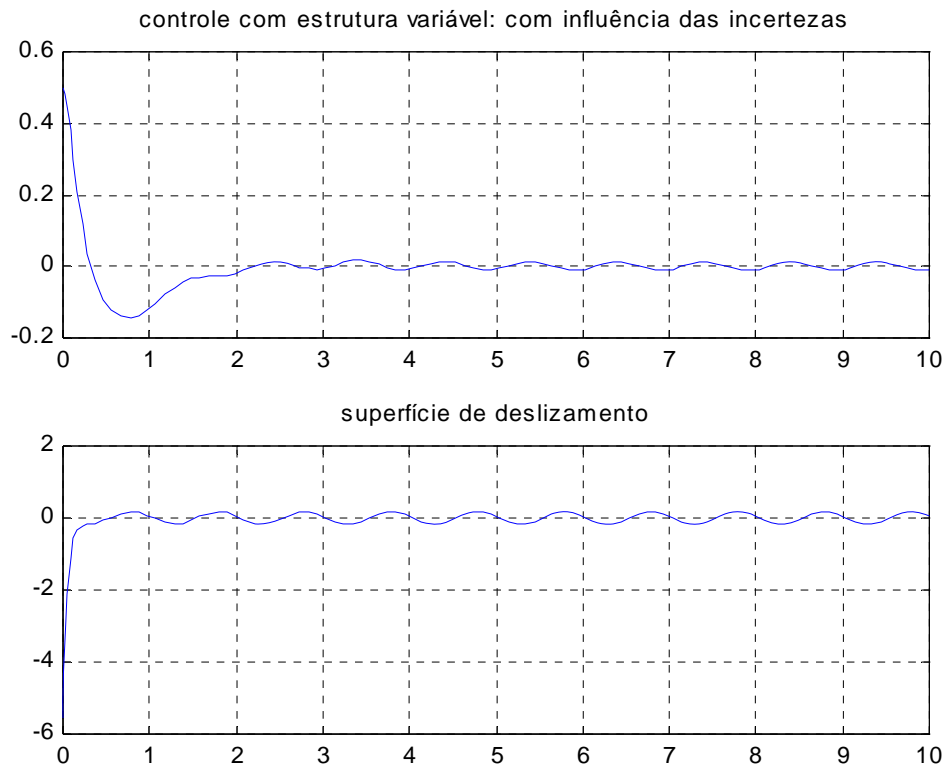


Figura 4: Controle com estrutura variável com incertezas e superfície de deslizamento.

Dada a importância que tem adquirido a utilização de técnicas de controle na estabilização de sistemas instáveis atualmente, o presente projeto teve por objetivos demonstrar como a utilização de estruturas variáveis e modos deslizantes na obtenção da lei de controle de um sistema aumenta a robustez deste mesmo na presença de incertezas e perturbações.

Referências Bibliográficas

- [01] EDWARDS, C. e SPURGEON, S. K. **Sliding Mode Control: Theory and Applications**, Taylor & Francis Ltd., London, 1998.
- [02] DE CARLO, R. A., ZACK, S. H. e MATTHEWS, G. P., **Variable structure control of nonlinear multivariable systems: a tutorial**, *Proceedings of the IEEE VSC* 76,212-232.
- [03] OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**, 4ª Edição, Prentice Hall, São Paulo, 2005.
- [04] DORF, R. C. e BISHOP, R. H. **Sistemas de Controle Modernos**, 8ª Edição, LTC Editora, Rio de Janeiro, 1998.

Bolsa: PET.