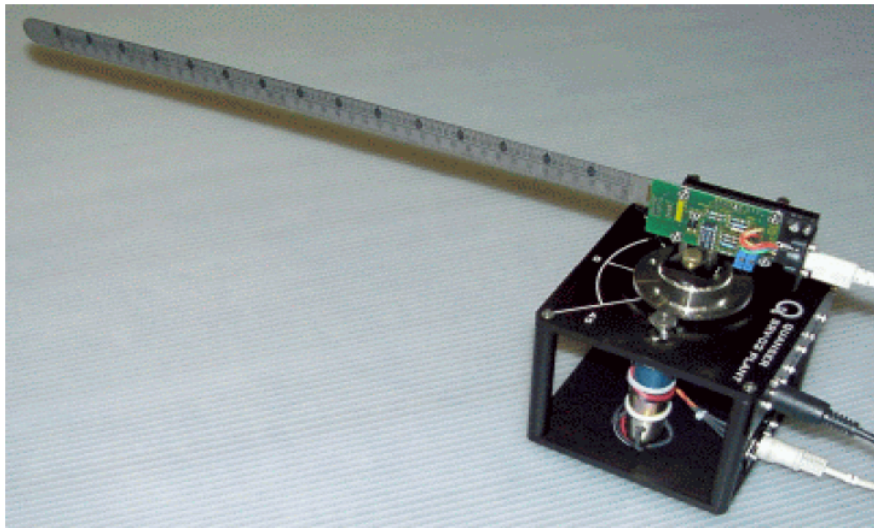


Mestrado Integrado em Engenharia Aeroespacial

2010/2011 - Semestre de Inverno

TRABALHO DE LABORATÓRIO

Parte 3 – Estimação de Estado e Controlo do Sistema Servo-Motor + Barra Flexível



Preparado por

***Alexandre Bernardino, Margarida
Silveira, J. Miranda Lemos, P. Oliveira***

IST, Área Científica de Sistemas, Decisão e Controlo

Parte 3 – Estimação de Estado e Controlo do Sistema Servo-Motor + Barra Flexível

Objectivos: Utilizar métodos de estimação de estado e de controlo linear quadráticos óptimos para controlar o sistema servomotor + barra flexível (ver **Error! Reference source not found.**) que sejam apropriados ao controlo digital.

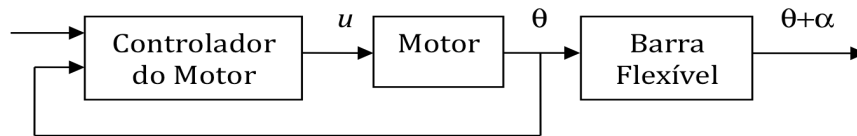


Fig. 1 - Sistema considerado para o processo de identificação.

Esta fase do trabalho pretende utilizar os resultados da fase anterior, onde se efectuou a identificação do sistema motor+barra flexível, descrito na figura 1, que mostra o diagrama de blocos quando se utilizou um controlador de posição. Este sistema compreende os blocos entre o sinal de entrada de θ (sinal de referência para a posição do motor) e a posição da ponta da barra, $\theta + \alpha$. O sinal θ é o ângulo do veio do motor (medido por um potenciómetro) e o sinal α é o ângulo de deflexão da barra (medido por um extensómetro).

A posição do motor é controlada como se dimensionou na Parte 2 do Trabalho. Peça ao docente do Laboratório para confirmar os ganhos e a estrutura deste controlador.

Na Parte 3 que agora começa vai dimensionar um controlador para a deflexão da ponta da barra que será montado em cascata. A partir da medida de $\theta + \alpha$ e da sua referência r , o controlador que vai dimensionar deverá calcular a referência de posição do motor, u . A este esquema, que se mostra na figura 2, dá-se o nome de “controlo em cascata” ou na literatura anglo-saxónica em *inner / outer loops*.

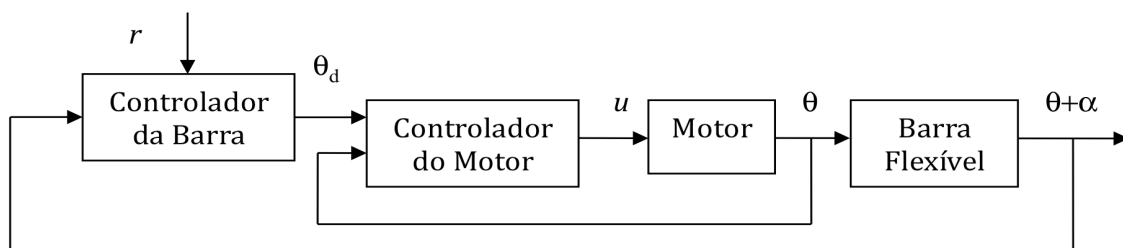


Fig. 2 – Controlo em cascata do motor e da barra flexível.

Planeamento: Esta parte decorre em duas sessões nas quais se deverão abordar os seguintes problemas.

1 – a) Desenho de estimador estocástico linear óptimo (Kalman filter) para as variáveis de estado do sistema identificado na parte 2.

b) Desenho e implementação de um controlador linear óptimo para o sistema motor+barra-flexível, considerado em cadeia fechada, assumindo acesso ao estado do sistema.

c) Teste do sistema linear quadrático Gaussiano, composto pelo estimador e regulador desenhados. Selecção e afinação dos parâmetros dos sistemas, em simulação.

2 – Implementação dos sistemas de estimação e controlo em tempo real com o sistema real. Implementação digital dos sistemas.

Tarefas:

1a Desenho de estimador estocástico linear óptimo (Kalman filter)

Projecte um estimador óptimo para o sistema composto pelo motor+barra flexível, que possa fornecer estimativas de todas as variáveis de estado dos sistema. Para o desenho deste estimador, deverá visitar os resultados obtidos quando fez testes para identificação e calibração. Sugere-se que para caracterizar o ruído de estado se comparem resultados de várias simulações iguais e que, caso seja necessário, se utilize a dilatação da covariância de processo para aumentar a robustez do mesmo.

Sugere-se também a análise dos resultados obtidos com a função $lqe()$, em comparação com a dinâmica esperada para o erro de estimação.

1b Desenho e implementação de um controlador linear óptimo

Projecte e teste um sistema de controlo para o processo servo motor + barra flexível, tal que o sistema controlado satisfaça as seguintes especificações:

1. Regulação (capacidade da barra manter uma posição desejada fixa face a perturbações):

- a. Estabilidade em toda a sua gama de funcionamento.
- b. Baixa sensibilidade ao ruído de alta frequência.
- c. Baixa variância da saída em regime permanente.

2. Seguimento de referências:

- a. Modo de posicionamento da barra flexível com erro nulo em regime permanente, sobrelevação inferior a 5 % e tempo de estabelecimento inferior a 400ms no posicionamento da barra flexível.
- b. Limitação da saída a $\pm 45^\circ$ para não exceder os limites físicos do sistema.

Efectue o projecto de base recorrendo a um controlador linear quadrático, que pretende minimizar o funcional que penaliza o erro quadrático da ponta da barra, tendo em consideração o custo de controlo, a afinar posteriormente.

Sugere-se também a análise dos resultados obtidos com a função $\text{lqr}()$, em comparação com a dinâmica em cadeia fechada. Caso seja necessário, reescreva a dinâmica do sistema em causa, tendo como uma das variáveis de estado a saída do sistema.

Escolhendo como variáveis de estado o estado do sistema e o erro de estimação, mostre que o Teorema da Separação se verifica.

Implemente e valide em simulação o estimador e o regulador desenhados.

2 Implementação dos sistemas de estimação e controlo em tempo real com o sistema real. Implementação digital dos sistemas.

Caso necessite de efectuar a discretização de sistemas pode recorrer ao método de escalão invariante ou ao método de Tustin, que corresponde a

$$s \approx \frac{2}{h} \frac{z-1}{z+1},$$

onde h é o período de amostragem.

Relatório.

Elabore um relatório sucinto (max. 20 pag. 10 pt). O relatório deverá seguir a estrutura do guia de laboratório, apresentando uma breve descrição dos procedimentos, os resultados obtidos e comentários adicionais. O relatório deverá ser entregue em formato electrónico (pdf) e impresso em papel.