Lista 4 – Projeto de Sistemas de Controle

Instruções

A lista a seguir deve ser resolvida utilizando o MATLAB ou software similar (ex: Scilab). Forneça, na resposta de cada questão, comandos utilizados e modelos Simulink (ou similar, como Xcos) construídos.

A lista é uma continuação da lista 2, que foi parcialmente baseada no material presente em:

http://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?example=AircraftPitch&section=ControlStateSpace

Há um anexo com arquivos templates para a resolução desta lista, desenvolvidos no software Simulink. Em breve será disponibilizado um anexo com arquivos template desenvolvidos no software Xcos.

Modelo utilizado

O mesmo modelo utilizado na lista 2, do artigo "Design and flight-testing of non-linear formation control laws", de G. Campa et al., será utilizado nesta lista. O modelo segue abaixo:

$$\begin{bmatrix} \dot{\alpha} \\ \dot{q} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -4.1172 & 0.7781 & 0 \\ -33.8836 & -3.5729 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha \\ q \\ \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.5435 \\ -39.0847 \\ 0 \end{bmatrix} \delta$$

No modelo acima, todos os ângulos são dados em radianos e velocidades angulares em rad/s. A explicação física do que é cada elemento das matrizes ***A*** e ***B*** pode ser encontrada em livros usados na disciplina Mecânica do Voo, mas não são relevantes aqui.

Condições iniciais:

$$\alpha(0) = 0.5 \text{ rad}, \qquad \mathrm{q}(0) = 0 \text{ rad/s}, \qquad \theta(0) = -0.1 \text{ rad}$$

Nesta lista será estudada a observação de estados via filtro de Kalman. Para isso, será considerado que o sistema possui as seguintes características:

- **Computador de bordo**: filtro de Kalman é executado digitalmente em um computador de bordo. Assim, um modelo discreto do sistema é utilizado.
- **Sensores disponíveis**:
  - Medidor de ângulo de ataque α. Medida corrompida por ruído branco com variância $16 \cdot 10^{-2}$ (rad)².
  - Medidor de ângulo de arfagem θ. Medida corrompida por ruído branco com variância $4 \cdot 10^{-2}$ (rad)².
  - Medidor do comando δ. Medida corrompida por ruído branco com variância $1 \cdot 10^{-2}$ (rad)².
- **Taxa de amostragem**: todos os sensores fornecem medidas a cada T = 10 ms (0,01 s) e filtro de Kalman é executado na mesma taxa. Taxa de amostragem f = 100 Hz. Obs: template enviado já apresenta configurações necessárias para taxa de amostragem correta.

Além disso, considere um tempo de simulação de 10 segundos para todos os casos.

Atividade

Questão 1 – Discretizar o modelo utilizado usando T informado na seção *Modelo Utilizado*. Utilizar função apropriada do MATLAB (ou software similar) para isso. Ao informar o modelo contínuo, considerar matriz C apropriada para indicar um par de sensores que fornecem α e θ, nesta ordem. Fornecer como resposta matrizes F, G, H obtidas ao discretizar.

Questão 2 – Implemente sistema discretizado no Simulink (ou similar), utilizando arquivo template enviado junto desta lista. Então, simule o sistema discretizado para uma entrada $\delta =$ degrau de 0.1 rad.

- O sistema será simulado na forma discreta*.
- Veja que o sistema possui **condições iniciais não nulas**, que afetam a resposta do sistema.
- Mostrar um gráfico com a evolução do vetor de estados (ou seja, dos 3 estados) no tempo
- Resposta deve ser similar à obtida na lista 2.

* Veja que é tecnicamente possível o sistema ser simulado de forma contínua, e sua saída discretizada. Mas optou-se por exigir que o sistema seja simulado de forma discreta para manter a lista similar aos exemplos dados em aula, e para reduzir custo computacional.

Questão 3 – Configurar simulador para gerar dados de sensores ruidosos, conforme dados existentes em *Modelo Utilizado*. Então, efetuar configurações necessárias no filtro de Kalman para que ele estime de forma ótima o vetor de estados do sistema.

Lembre-se de:

- Ajustar geradores de ruído branco para a variância desejada
- Configurar as matrizes P_0, Q, R adequadamente
- Gerar estado inicial x_0 no filtro de Kalman inserindo o comando abaixo no bloco *unit delay* relacionado ao estado estimado

[0.5 0 -0.1] + randn(3,1)

Então, simular sistema nas mesmas condições (iniciais e de entrada) que na questão 2 e considerando:

a) Ambos os sensores disponíveis
b) Ambos os sensores inicialmente disponíveis, falha completa de sensores (sensores indisponíveis) a partir de t = 3 segundos.
c) Ambos os sensores inicialmente disponíveis, sensor de θ indisponível partir de t = 3 segundos.
d) Ambos os sensores inicialmente disponíveis, sensor de α indisponível partir de t = 3 segundos.

Apresente como resposta para cada simulação:

- Gráfico com α e θ verdadeiros, α e θ medidos (sensores ruidosos) e α e θ estimados (filtro de Kalman) sobrepostos. Pode-se fazer uma plotagem com os 6 resultados, ou duas plotagens, uma com todos os resultados que envolvem α e outro com θ.
- Gráfico contendo erro (diferença) entre estados verdadeiros e estimados.
- Gráfico dos elementos da diagonal da matriz P (usar função *PlotPk_L3.m* no workspace após simulação)
- Gráficos de consistência estatística (apenas teste χ-quadrado, apenas para estado, usar função avaliaConsistenciaX no workspace após simulação)

Além disso, apresentar discussões sobre o resultado, incluindo os seguintes tópicos:

- Que efeito tem a falha dos sensores nos resultados
- Por que a falha em um sensor causa efeito distinto que a falha em outro sensor (sugestão, rever lista 2)
- Interpretação do gráfico da diagonal da matriz e como ela se comporta em cada caso simulado
- Interpretação dos testes de consistência estatística