

Projecto de Controlo Digital – 2015/2016

Controlo De Pêndulo Invertido Rotativo

Trabalho Prático nº 2

Joel Möllering Torrado

2010129889

José Pedro Medeiros

2010129934



Figura 1: Controlo De Pêndulo Invertido Rotativo.

Introdução

O trabalho que se segue tem como objectivos fazer o projecto e análise de um sistema de controlo em espaço de estados de um Pêndulo Invertido Rotativo (**PIR**) utilizando técnicas estocásticas. O controlo do **PIR** apresenta um interessante desafio dado que pelo efeito da gravidade, que actua como uma perturbação constante, a própria configuração física do pêndulo é inerentemente instável. O objetivo final do trabalho é controlar o **PIR** de maneira a manter o pêndulo na posição vertical independentemente da aplicação de possíveis perturbações aplicadas em α alpha ou em θ theta.

Na primeira fase do trabalho foi implementado o modelo linear, que utiliza as equações simplificadas do modelo do **PIR**, posteriormente foi implementado ainda o modelo não linear utilizando, neste caso, as equações completas. Estas equações encontram-se descritas mais à frente neste relatório. De seguida foram projectados dois controladores, um controlador que utiliza o modelo de Ackermann e um controlador que utiliza o método **LQR** (Linear Quadratic Regulator). Ambos os controladores foram aplicados nos dois modelos (linear e não linear) nos casos de comando por tensão e de comando por binário.

Por fim foi projectado um controlador em espaço de estados que controla o pêndulo no ponto de equilíbrio e em simultâneo controla o braço. Foi ainda implementado e testado um controlador PID em cascata para controlo do braço e do pêndulo.

1 Objetivos:

O trabalho que se segue têm como objectivos fazer o projecto e análise de um sistema de controlo em espaço de estados de um Pêndulo Invertido Rotativo (PIR) utilizando técnicas estocásticas. É exigido que neste projecto o pêndulo convirja sempre para a posição vertical, mesmo quando este é sujeito a perturbações externas. É necessário projectar um controlador quadrático linear através do uso do método lqr, implementar o filtro de Kalman e usá-lo como observador e ainda projectar o filtro de Kalman com estado aumentado (estimar a perturbação). Como objectivo principal temos a análise do PIR tanto no modelo linear como no não linear com injeção de ruído tanto nas posições angulares como no sinal de comando e verificar como o filtro de Kalman reage á introdução do ruído (isto é, se é capaz de filtrar os ruídos).

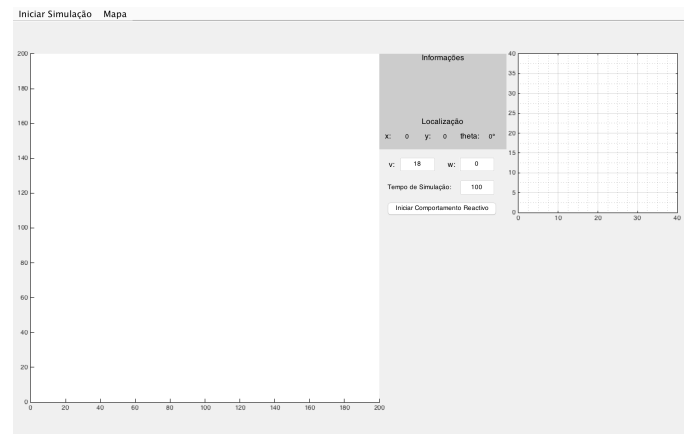


Figura 2: Captura do Simulador no momento de escolha da posição e orientação inicial.

1.1 Descrição:

Na primeira parte deste trabalho realizámos o controlo de um PIR (Pêndulo Invertido Rotativo) usando tanto o modelo linear, como também o modelo não linear. Projectámos um controlador usando o método LQR 1 (Regulador Quadrático Linear) fazendo uso da matriz Q , onde Q_1 e Q_2 são matrizes simétricas reais definidas positivas. Os elementos da diagonal principal de Q_1 representam o peso atribuído á posição do braço, á posição do pêndulo, á velocidade do braço e á velocidade do pêndulo e Q_2 representa o peso atribuido ao esforço de comando do sistema. A última matriz apenas têm um elemento visto apenas existir uma entrada no sistema. Primeiramente foram deduzidas as fórmulas do modelo linear. Estas foram obtidas através de um processo de linearização das equações não lineares do PIR. Após a obtenção dos dois modelos prosseguimos para o projecto do controlador LQR, onde diferentes matrizes de Q_1 e Q_2 foram testadas até que o sistema tivesse um bom desempenho. Na simulação fizemos uso tanto do modelo linear como do modelo não linear

e comanda- mos o motor em tensão e em binário separadamente. De seguida fizemos uma análise cuidada da robustez do sistema de controlo de modo a encontrar o parâmetro mais crítico. Para isso variamos os parâmetros intrínsecos do PIR, em ambos os modelos, linear e não linear. Na segunda parte do trabalho projectámos o filtro de Kalman e analisamos os estados esti- mados e de seguida realimentamos o sistema com essas variáveis estimadas. Tivemos também em consideração no projecto do observador a presença de ruído branco nas leituras de Foi ainda projectado um filtro de Kalman de estado aumentado quando se verifica uma perturbação constante na entrada. descrição resumida do trabalho com uma figura ilustrativa da estrutura geométrica do PIR; identificar na figura as variáveis em jogo; tabela com valores dos parâmetros do PIR.

1.2 Principais resultados:

descrever de forma resumida os principais resultados observados.

2 Modelos do Processo:

(max 5 pags)

2.1 Modelos lineares - casos de comando por tensão e comando por binário:

modelos lineares do PIR, diagramas em Simulink dos sistemas de controlo com identificação de todas as variáveis em jogo; modelos de estado c/ valores numéricos, etc...;

2.2 Modelos não lineares - casos de comando por tensão e comando por binário:

modelos não lineares do PIR, diagramas Simulink (esquema geral do sistema de controlo e subsistema do modelo não linear) para os dois casos, com identificação de todas as variáveis em jogo; código das funções MATLAB (p/ os dois casos), etc..;

3 Controle em espaço de estados, aplicando a lei de Ackermann e controlador LQR, usando na simulação os modelos linear e não linear do PIR (max 9 pags)

3.1 Comando por tensão:

- Equações dos controladores (expressões matemáticas e código em Matlab que sintetize o núcleo do projeto); critérios e parâmetros de projecto usados; condições iniciais usadas e como foram introduzidas na implementação MATLAB/Simulink, etc...; - Apresentação de resultados: uma figura com apresentação sobreposta dos sinais (ulinear, unaolinear, alfaolinear, alfanaolinear) para simulação nas mesmas condições (mesmo sinal de referência; mesmas condições iniciais; mesmos critérios de projecto); uma figura com apresentação sobreposta dos sinais (ulinear, unaolinear, thetelinear, thetanaolinear; discussão de resultados (sugere-se a inclusão de uma tabela que sintetize resultados de simulação, relativos a respostas a degrau, através do uso de indicadores como por exemplo o tempo de pico, tempo de estabelecimento, overshoot, etc... em função de critérios do projecto do controlador.

3.2 Comando por binário:

Repita os procedimentos indicados no ponto 3.1, agora para o caso de comando por binário. Usar duas figuras/gráficos para comparar resultados entre os dois casos em estudo (comando por tensão e comando por binário). Nota: comparar resultados para os dois controladores (nota: incluir estudo/simulação para diferentes valores dos parâmetros Q e R do controlador LQR) para as diferentes situações (comando por tensão/comando por binário; uso do modelo linear/não linear do PIR).

4 Controlador do pêndulo e do braço:

(max 4 pags)

4.1 4.1

- Faça o projeto e estudo de um controlador em espaço de estados que realize simultaneamente o controlo do pêndulo (no ponto de equilíbrio upright) e do braço (utilize o modelo não linear do PIR na simulação).

4.2 4.2)

- Faça o projeto e estudo de um controlador PID em cascata (com 2 malhas de controle: malha interna e malha externa) para controle do braço e do pêndulo (no ponto de equilíbrio upright).

5 ANEXOS

(max 6 pags) - Anexo A: Códigos MATLAB - Anexo B: Diagramas Simulink