

## Projeto Final - Controle de Sistemas Mecânicos

Este projeto final versa sobre uma versão modificada do problema do pêndulo invertido tratado nas listas de exercícios. Nesta versão, o controle sobre o sistema é diretamente exercido sobre a aceleração do carro que serve de base para a haste (o "pêndulo invertido"). Assim, o sistema a ser estudado passa a ser descrito por apenas um grau de liberdade, o ângulo de rotação (note que a posição da ponta da haste continua a ser descrita pela posição do carro e pelo ângulo, mas a primeira não é mais livre, mas determinada diretamente pelo controle).

**1ª Questão :** Escreva as equações que governam a dinâmica desse novo modelo. Discuta a possibilidade de linearização para esse problema. Discuta, também, a existência de pontos de equilíbrio e suas correspondentes condição de estabilidade.

**2ª Questão:)** Para  $\theta = 0$  (consulte a figura na primeira lista de exercícios) o sistema é instável. Mais uma vez, um sistema de controle pode objetivar a estabilização de uma configuração como esta. Formule esse esquema de estabilização como um problema de controle ótimo geral (considerando que o sistema é não linear). Pesquise como o problema matemático resultante poderia ser resolvido. Note que não está sendo pedido que essa forma de solução seja implementada, apenas uma descrição qualitativa.

**3ª Questão:)** Construa, agora, uma formulação LQR para a versão linearizada do problema. Obtenha a lei de controle considerando  $M = 0.5 \text{ Kg}$ ,  $m = 0.2 \text{ Kg}$  e  $l = 0.3 \text{ m}$  (considere mais uma vez a figura da primeira lista para entender a notação utilizada).

**4ª Questão:)** Construa uma nova versão da estratégia acima considerando duas situações : (i) só  $\theta$  é monitorado; (ii) só  $\dot{\theta}$  é monitorado. Para tanto, caso o sistema seja observável, construa observadores. Para um desses dois casos, analise o impacto de ruídos nos sensores.

**5ª Questão:)** Discuta a robustez do sistema de malha fechada obtido pelo uso do LQR com respeito a potenciais incertezas associadas aos parâmetros do modelo (use os valores acima).