Universidade Estadual de Campinas

Faculdade de Engenharia Mecânica

ES727 - Controle Neural e Nebuloso

Trabalho 2

Rede Neural para Controle de um Pêndulo Invertido

Nome	*RA*
Daniel Dello Russo Oliveira	101918
Marcelli Tiemi Kian	117892

26 de junho de 2017

1 Introdução

Nesse trabalho será proposta e implementada um controlador para o problema do pêndulo invertido baseado em redes neurais. O treinamento da rede será abordado assim como os resultados obtidos em simulação.

2 Pêndulo Invertido

O pêndulo invertido é um dos problemas mais tradicionais na área de controle: trata-se de um carrinho que anda em uma única dimensão acoplado a uma haste que pode rotacionar livremente ao longo do eixo perpendicular ao movimento do carrinho e à aceleração da gravidade. A haste está sujeita à gravidade e o carrinho responde a uma força F de entrada direcionada ao longo do seu eixo de movimento. As variáveis a serem levadas em conta são a posição x do carrinho e a posição angular θ da haste, além das suas respectivas velocidades e acelerações. A figura 1 apresenta uma ilustração do sistema tratado.

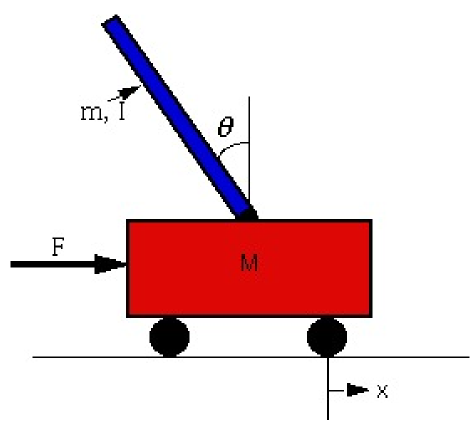

Figura 1: Representação de um pêndulo invertido

Modelando esse sistema encontramos:

$$\ddot{x} = \frac{\frac{F}{m} - gsin(\theta)cos(\theta) + l\dot{\theta}^2 sin(\theta)}{\frac{M}{m} + sin(\theta)^2} \tag{1}$$

$$\ddot{\theta} = \frac{-\frac{Fcos(\theta)}{m} + \frac{(M+m)gsin(\theta)}{m} - l\dot{\theta}^2 sin(\theta)cos(\theta)}{l(\frac{M}{m} + sin(\theta)^2)} \tag{2}$$

Busca-se controlar a posição do carrinho x enquanto mantendo a orientação vertical da haste. Esse sistema é altamente não linear a o equilíbrio $\theta = 0$ buscado é instável.

O sistema tratado tem os parâmetros:

$$M = 0.455\ Kg \tag{3}$$

$$m = 0.21\ Kg \tag{4}$$

$$l = 0.61\ m \tag{5}$$

$$g = 9.8\ m/s^2 \tag{6}$$

3 Treinamento

Para os propósitos desse trabalho treinamos a rede neural utilizando uma combinação de controladores: consideramos dois problemas distintos, um que trabalha em torno do ponto de equilíbrio procurado e outro que leva nosso sistema para esse ponto de equilíbrio.

Para as proximidades do ponto de equilíbrio foi utilizada uma combinação de controladores PD e um ganho de feedfoward no controle de posição do carrinho combinado com um controlador LQR que foca no controle do ângulo θ. Essa estrutura de controle é a proposta nos demos do Matlab e apresenta um resultado bastante satisfatório.

Para levar o sistema ao ponto de equilíbrio um controlador bastante simples foi implementado: quando o sistema se encontra longe do ponto buscado $|\theta| > \frac{pi}{3}$ aplica-se uma força de intensidade constante e sinal idêntico à velocidade ângular $\dot{\theta}$ até que o pêndulo chegue a região de operação desejada.

Foi montada então a estrutura vista na figura 2 em que a saída de vários dos controladores foi saturada e simulamos esse sistema para uma referência de posição que muda aleatoriamente a cada 10 segundos e para condições iniciais de θ variando de 0 a 2π com passos de $\frac{\pi}{18}$, cada uma dessas simulações tem uma duração de 50 segundos. Alguns dos resultados dessa simulações podem ser visto na figura 3

Figura 2: Implementação Simulink do controlador para treinamento

Figura 3: Resultados da simulação de treinamento

Exportamos como dados de entrada para o treinamento a referência e o erro em posição, a velocidade linear do carrinho, a velocidade e a posição angular do mesmo e o valor absoluto da posição angular normalizada para valores entre $-\pi$ e π. Esse último dado é utilizado como chave para a troca entre os controladores e por ser uma função complexa da posição angular escolhemos exportá-la afim de facilitar o treinamento da rede. Como saída exportamos o sinal de controle: a força F aplicada no carrinho.

Como nos primeiros treinamentos notamos que a rede estava tendo dificuldades para trabalhar com ângulos iniciais na faixa $\frac{pi}{2}$ à $\frac{3pi}{2}$ então aumentamos nossos dados de treinamento para incluir mais simulações saindo de condições iniciais nesse intervalo, com um passo de $\frac{\pi}{12}$ com uma duração de 20 segundos.

4 Referências

[1] Potvin, J-Y. et Al. Online vehicle routing and scheduling with continuous vehicle tracking. Proceedings for the ROADEF 2014 Conference, 2014.