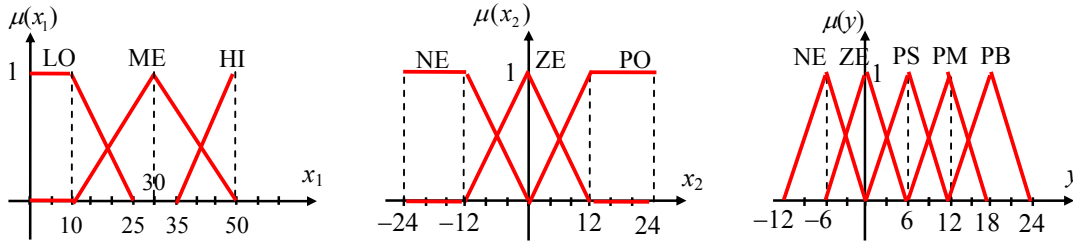


Bài 1: (2.5 đ) Cho các giá trị ngôn ngữ của các biến x_1 , x_2 và y . Bảng qui tắc mờ cho dưới đây.



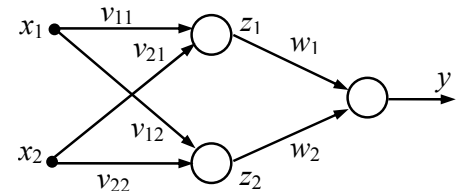
		x_1		
		LO	ME	HI
x_2	NE	NE	ZE	NE
	ZE	PM	PS	PM
	PO	PS	PM	PB

Vẽ kết quả suy luận dùng hệ mờ nêu trên khi ngõ vào hệ mờ là $x'_1 = 40$; $x'_2 = 5$ dùng phương pháp suy diễn MAX_MIN. Tính kết quả giải mờ theo phương pháp trung bình có trọng số.

Bài 2: (3.5 điểm) Cho mạng thần kinh ở hình 2, trong đó hàm kích hoạt ở lớp ẩn là hàm tansig với $\lambda=1$, hàm kích hoạt ở lớp ra là hàm tuyến tính. Cho biết trọng số ban đầu của mạng như sau: $v_{11}(1) = -1.2$; $v_{21}(1) = 0.5$; $v_{12}(1) = 0.7$; $v_{22}(1) = -0.5$; $w_1(1) = -0.6$; $w_2(1) = 0.8$. Cho tập dữ liệu huấn luyện mạng:

$$X = \begin{bmatrix} -0.5 & 0.2 & 1.1 \\ 0.7 & 0.2 & -0.6 \end{bmatrix}, \quad D = \begin{bmatrix} 0.7 & 1.0 & -0.4 \end{bmatrix}$$

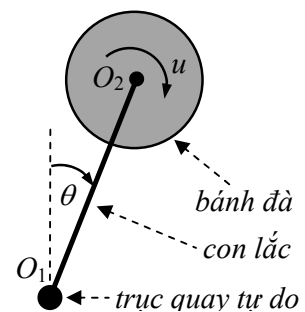
Tính trọng số của mạng sau 1 bước huấn luyện theo giải thuật lan truyền ngược với hệ số học $\eta = 0.4$.



Bài 3: (4.0 điểm) Cho hệ con lắc ngược - bánh đà như hình vẽ, trong đó con lắc quay tự do quanh trục O_1 , và bánh đà được động cơ DC truyền động quay quanh trục O_2 với chiều dương qui ước trên hình. Biết rằng phạm vi điều khiển **giữ cân bằng con lắc** là $-15^\circ \leq \theta \leq 15^\circ$ và điện áp cấp cho động cơ quay bánh đà là $-24V \leq u \leq 24V$

3.1 (2.5 điểm) Hãy thiết kế bộ điều khiển mờ gồm 25 qui tắc điều khiển bánh đà giữ con lắc ngược cân bằng ở vị trí thẳng đứng. Vẽ sơ đồ khối của hệ thống điều khiển, các tập mờ mô tả các giá trị ngôn ngữ và vẽ hình minh họa ý tưởng đưa ra 5 qui tắc điển hình.

3.2 (1.5 điểm) Xây dựng mạng thần kinh học bộ điều khiển mờ đã thiết kế ở câu 3.1, vẽ sơ đồ mạng thần kinh và trình bày cách huấn luyện mạng. Vẽ sơ đồ khối hệ thống điều khiển giữ cân bằng hệ con lắc bánh đà dùng mạng thần kinh đã huấn luyện.



Hết

Đáp án

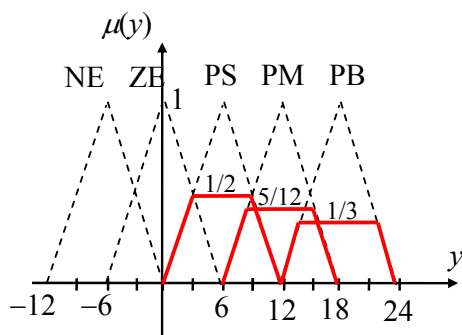
Bài 1: (2.5đ)

Mờ hóa:

$$x'_1 = 40 \rightarrow \begin{bmatrix} \mu_{LO}(x'_1) \\ \mu_{ME}(x'_1) \\ \mu_{HI}(x'_1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1/2 \\ 1/3 \end{bmatrix} \quad x'_2 = 5 \rightarrow \begin{bmatrix} \mu_{NE}(x'_2) \\ \mu_{ZE}(x'_2) \\ \mu_{PO}(x'_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 7/12 \\ 5/12 \end{bmatrix} \quad (0.5đ)$$

Các qui tắc tác động (0.75đ)			
x_1	x_2	y	Độ đúng mệnh đề điều kiện
ME	ZE	PS	$\beta_1 = \min\{\mu_{ME}(x'_1), \mu_{ZE}(x'_2)\} = 1/2$
ME	PO	PM	$\beta_2 = \min\{\mu_{ME}(x'_1), \mu_{PO}(x'_2)\} = 5/12$
HI	ZE	PM	$\beta_3 = \min\{\mu_{HI}(x'_1), \mu_{ZE}(x'_2)\} = 1/3$
HI	PO	PB	$\beta_4 = \min\{\mu_{HI}(x'_1), \mu_{PO}(x'_2)\} = 1/3$

Kết quả suy luận: (0.75đ)



Kết quả giải mờ theo phương pháp trung bình có trọng số

$$y^* = \frac{6 \times (1/2) + 12 \times (5/12) + 18 \times (1/3)}{1/2 + 5/12 + 1/3} = 11.2 \quad (0.5đ)$$

Bài 2: (3.5đ)

Hàm kích hoạt lớp ẩn là hàm tansig:

$$a_h(f) = \frac{1 - e^{-f}}{1 + e^{-f}}$$

$$a'_h(f) = \frac{1}{2} [1 - a_h^2(f)]$$

Hàm kích hoạt lớp ra là hàm tuyến tính:

$$a_o(f) = f$$

$$a'_o(f) = 1$$

Dữ liệu huấn luyện mạng:

$$X = \begin{bmatrix} -0.5 & 0.2 & 1.1 \\ 0.7 & 0.2 & -0.6 \end{bmatrix}, \quad D = [0.7 \quad 1.0 \quad -0.4]$$

Bước 1: $k=1$; $\eta=0.4$; $E=0$

$$\mathbf{v}_1(1) = \begin{bmatrix} v_{11}(1) \\ v_{21}(1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1.2 \\ 0.5 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{v}_2(1) = \begin{bmatrix} v_{12}(1) \\ v_{22}(1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.7 \\ -0.5 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{w}(1) = \begin{bmatrix} w_1(1) \\ w_2(1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.6 \\ -0.8 \end{bmatrix}$$

Bước 2: Tính ngõ ra của mạng (truyền thuận dữ liệu)

Lớp ẩn (1.0 đ)

$$net_{h1}(1) = \mathbf{v}_1^T(1)\mathbf{x}(1) = [-1.2 \quad 0.5] \begin{bmatrix} -0.5 \\ 0.7 \end{bmatrix} = 0.95$$

$$net_{h2}(1) = \mathbf{v}_2^T(1)\mathbf{x}(1) = [0.7 \quad -0.5] \begin{bmatrix} -0.5 \\ 0.7 \end{bmatrix} = -0.7$$

$$z_1(1) = a_h(net_{h1}) = \frac{1 - \exp(-net_{h1})}{1 + \exp(-net_{h1})} = \frac{1 - \exp(-0.95)}{1 + \exp(-0.95)} = 0.4422$$

$$z_2(1) = a_h(net_{h2}) = \frac{1 - \exp(-net_{h2})}{1 + \exp(-net_{h2})} = \frac{1 - \exp(0.7)}{1 + \exp(0.7)} = -0.3364$$

$$\Rightarrow \mathbf{z}(1) = \begin{bmatrix} z_1(1) \\ z_2(1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4422 \\ -0.3364 \end{bmatrix}$$

Lớp ra (0.25đ):

$$net_o(1) = \mathbf{w}^T(1)\mathbf{z}(1) = [-0.6 \quad 0.8] \begin{bmatrix} 0.4422 \\ -0.3364 \end{bmatrix} = -0.5344$$

$$y(1) = a_o(net_o(1)) = net_o(1) = -0.5344$$

Bước 3: Cập nhật trọng số (lan truyền ngược sai số)

Chú ý: $a'_o(net_o) = 1$ do hàm kích hoạt lớp ra là hàm tuyến tính

$$a'_h(net_{hq}) = \frac{1}{2} [1 - a_h^2(net_{hq})] = \frac{1}{2} (1 - z_q^2) \text{ do hàm kích hoạt lớp ẩn là hàm tansig}$$

Lớp ra: (0.75đ)

$$\delta_o(1) = [(d(1) - y(1))][a'_o(net_o(1))] = (0.7 - (-0.5344)) = 1.2344$$

$$\mathbf{w}(2) = \mathbf{w}(1) + \eta \delta_o(1) \mathbf{z}(1) = \begin{bmatrix} -0.6 \\ 0.8 \end{bmatrix} + 0.4 \times 1.2344 \times \begin{bmatrix} 0.4422 \\ -0.3364 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.3816 \\ 0.6339 \end{bmatrix}$$

Lớp ẩn: (1.5đ)

$$\delta_{h1}(1) = (\delta_o(1)w_1(1))a'_h(net_{h1}(k)) = \delta_o(1)w_1(1)[1 - z_1^2(1)]/2$$

$$= 1.2344 \times (-0.6) \times (1 - 0.4422^2) / 2 = -0.2979$$

$$\delta_{h2}(1) = (\delta_o(1)w_2(1))a'_h(net_{h2}(k)) = \delta_o(1)w_2(1)[1 - z_2^2(1)]/2$$

$$= 1.2344 \times 0.8 \times (1 - (-0.3364)^2) / 2 = 0.4379$$

$$\mathbf{v}_1(2) = \mathbf{v}_1(1) + \eta \delta_{h1}(1) \mathbf{x}(1) = \begin{bmatrix} -1.2 \\ 0.5 \end{bmatrix} + 0.4 \times (-0.2979) \times \begin{bmatrix} -0.5 \\ 0.7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1.1404 \\ 0.4166 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{v}_2(2) = \mathbf{v}_2(1) + \eta \delta_{h2}(1) \mathbf{x}(1) = \begin{bmatrix} 0.7 \\ -0.5 \end{bmatrix} + 0.4 \times (0.4379) \times \begin{bmatrix} -0.5 \\ 0.7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.6124 \\ -0.3774 \end{bmatrix}$$

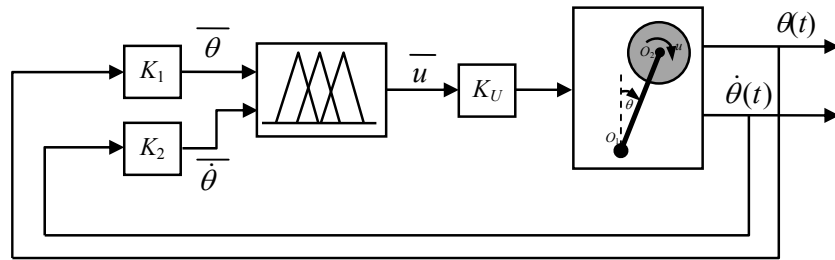
Cập nhật sai số:

$$E = E + \frac{1}{2} [d(1) - y(1)]^2 = 0 + \frac{1}{2} [0.7 - (-0.5344)]^2 = 0.7619$$

Bài 3: (4.0 điểm)

3.1 Thiết kế bộ điều khiển mờ

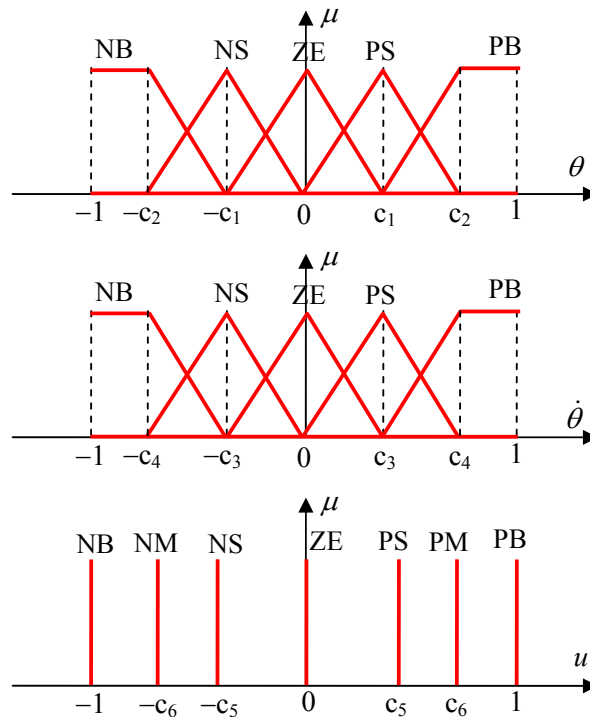
Sơ đồ khối bộ điều khiển mờ giữ cân bằng hệ con lắc ngược - bánh đà: (0.5đ)



Xác định biến vào/ra của hệ mờ các giá trị ngôn ngữ và các tập mờ (0.5 đ)

- Các biến vào bộ điều khiển mờ: θ (góc nghiêng con lắc) và $\dot{\theta}$ (vận tốc góc con lắc)
- Biến ra bộ điều khiển mờ: u (điện áp điều khiển động cơ quay bánh đà)
- Tầm giá trị các biến: $-15^\circ \leq \theta \leq 15^\circ$, $-24(V) \leq u \leq 24(V)$
- Hệ số chuẩn hóa: $K_1 = 1/15$, K_2 : chỉnh định thực nghiệm
 $K_u = 24$

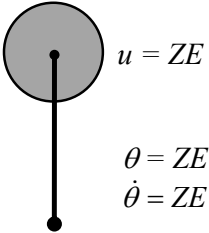
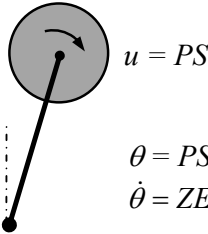
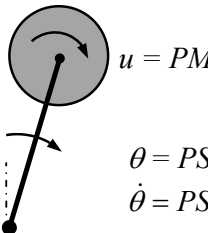
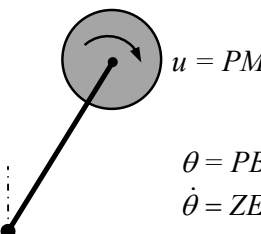
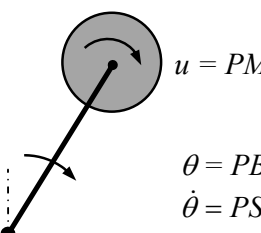
- Chọn 5 giá trị ngôn ngữ có biến θ , 5 giá trị ngôn ngữ cho biến $\dot{\theta}$ và 7 giá trị ngôn ngữ cho biến u . Hàm liên thuộc mô tả giá trị ngôn ngữ của các biến vào/ra của hệ mờ trình bày dưới đây, trong đó các tham số c_1, c_2, \dots của các hàm liên thuộc sẽ được chỉnh định thực nghiệm để được đáp ứng tốt. Chú ý là hàm liên thuộc được chọn đối xứng do bài toán điều khiển có tính đối xứng.



- Các qui tắc điều khiển (0.5 đ)

u		θ				
		NB	NS	ZE	PS	PB
$\dot{\theta}$	NB	NB	NB	NM	NS	ZE
	NS	NB	NM	NS	ZE	PS
	ZE	NM	NS	ZE	PS	PM
	PS	NS	ZE	PS	PM	PB
	PB	ZE	PS	PM	PB	PB

- Giải thích 5 qui tắc (đánh dấu màu vàng): **(1.0 đ)**

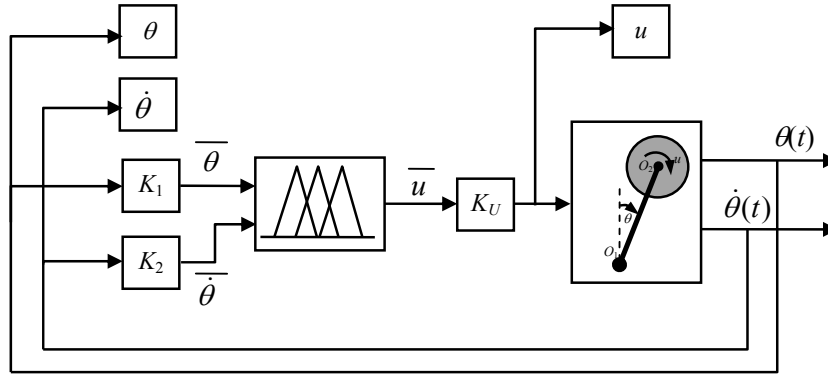
Luật điều khiển	Giải thích
 <p> $u = ZE$ $\theta = ZE$ $\dot{\theta} = ZE$ </p>	<p>Góc con lắc là ZE (con lắc đang thẳng đứng), vận tốc góc con lắc là ZE (con lắc đang đứng yên), do đó để duy trì trạng thái này cần giữ bánh đà đứng yên \Rightarrow tín hiệu điều khiển là ZE</p>
 <p> $u = PS$ $\theta = PS$ $\dot{\theta} = ZE$ </p>	<p>Góc con lắc là PS (con lắc hơi nghiêng sang phải), vận tốc góc con lắc là ZE (con lắc đang đứng yên), do đó con lắc trở về trạng thái cân bằng cần quay bánh đà theo chiều kim đồng hồ \Rightarrow tín hiệu điều khiển là PS</p>
 <p> $u = PM$ $\theta = PS$ $\dot{\theta} = PS$ </p>	<p>góc con lắc là PS (con lắc hơi nghiêng sang phải), vận tốc góc con lắc là PS (con lắc đang di chuyển theo chiều kim đồng hồ), do đó con lắc trở về trạng thái cân bằng cần quay bánh đà theo chiều kim đồng hồ mạnh hơn trường hợp 2 \Rightarrow tín hiệu điều khiển là PM</p>
 <p> $u = PM$ $\theta = PB$ $\dot{\theta} = ZE$ </p>	<p>góc con lắc là PB (con lắc nghiêng nhiều sang phải), vận tốc góc con lắc là ZE (con lắc đang đứng yên), do đó con lắc trở về trạng thái cân bằng cần quay bánh đà theo chiều kim đồng hồ mạnh hơn trường hợp 1 \Rightarrow tín hiệu điều khiển là PM</p>
 <p> $u = PM$ $\theta = PB$ $\dot{\theta} = PS$ </p>	<p>góc con lắc là PB (con lắc nghiêng nhiều sang phải), vận tốc góc con lắc là PS (con lắc đang di chuyển theo chiều kim đồng hồ), do đó con lắc trở về trạng thái cân bằng cần quay bánh đà theo chiều kim đồng hồ mạnh hơn trường hợp 3 và 4 \Rightarrow tín hiệu điều khiển là PB</p>

Áp dụng tính chất đối xứng và tính liên tục của hệ mờ, có thể đưa ra được bảng qui tắc điều khiển hoàn chỉnh.

(chú ý: sinh viên sử dụng sơ đồ điều khiển PD mờ với tín hiệu vào bằng 0, nếu thiết kế đúng vẫn được tính điểm)

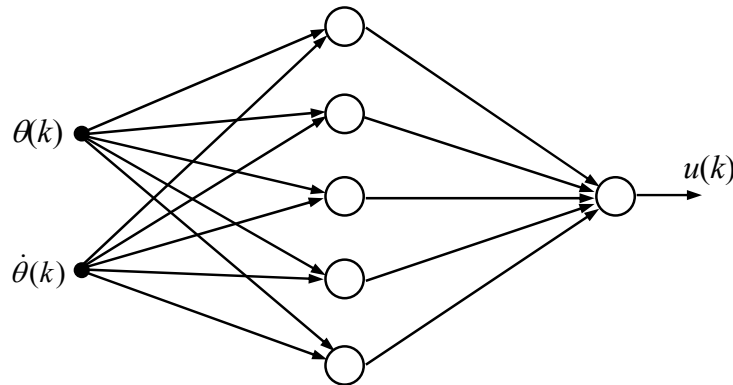
3.2 Thiết kế mạng thần kinh học bộ điều khiển mờ

Sơ đồ khối thu thập dữ liệu: **(0.25đ)**



Cấu trúc mạng thần kinh học bộ điều khiển mờ: **(0.5đ)**

- Mạng có hai ngõ vào là $\theta(k)$ và $\dot{\theta}(k)$; có một ngõ ra là $u(k)$
- Mạng có 2 lớp: lớp ẩn gồm 5 (cần thử sai để được số phù hợp) tế bào thần kinh có hàm kích hoạt dạng sigmoid, lớp ra gồm 1 tế bào thần kinh có hàm kích hoạt tuyến tính.



Huấn luyện mạng: **(0.5đ)**

- Thực hiện thí nghiệm điều khiển hệ con lắc bánh đà từ các điều kiện đầu khác nhau, lưu trữ dữ liệu để huấn luyện mạng thần kinh. Tập mẫu dữ liệu huấn luyện mạng là:

$$X = \begin{bmatrix} \theta(1) & \theta(2) & \theta(3) & \dots & \theta(K) \\ \dot{\theta}(1) & \dot{\theta}(2) & \dot{\theta}(3) & \dots & \dot{\theta}(K) \end{bmatrix}$$

$$D = [u(1) \quad u(2) \quad u(3) \quad \dots \quad u(K)]$$

Huấn luyện mạng thần kinh dùng giải thuật lan truyền ngược với tập dữ liệu đã thu thập ở trên.

- Sơ đồ điều khiển dùng mạng thần kinh sau khi huấn luyện **(0.25đ)**

