

XÂY DỰNG MÔ HÌNH CON LẮC NGƯỢC DẠNG QUAY TRÊN SIMULINK CỦA MATLAB

Nguyễn Văn Sơn

Trường Đại học Thủ Dầu Một

TÓM TẮT

Đối tượng con lắc ngược có tính bất ổn định cao thường dùng làm đối tượng điều khiển để kiểm nghiệm giải thuật điều khiển. Để tạo công cụ mô phỏng con lắc ngược trên Simulink của MATLAB cần xây dựng hệ phương trình chuyển động con lắc ngược, công việc này được trình bày trong bài báo này và để có hình ảnh chuyển động trực quan con lắc ngược khi mô phỏng phải tạo S function cho khối hoạt hình. Có nhiều giải thuật điều khiển khác nhau như: PID, tối ưu, thích nghi, bền vững... Trong bài báo này trình bày ngắn gọn giải thuật fuzzy như là một ví dụ về cách sử dụng công cụ ảo và để kiểm chứng tính khoa học mà công cụ ảo đã tạo ra. Mô hình ảo con lắc ngược được tạo ra làm công cụ tốt phục vụ cho thực tập trên máy tính trong môn học điều khiển tự động vì thuận lợi, hiệu quả và ít tốn kém.

Từ khóa: mô hình con lắc ngược, công cụ ảo

Đối tượng con lắc ngược nói chung và con lắc ngược dạng quay nói riêng là các đối tượng có tính bất ổn định cao, do đó thường được sử dụng để kiểm nghiệm các thuật toán điều khiển. Trong điều kiện chưa thể xây dựng mô hình điều khiển thực hoặc trước khi xây dựng mô hình điều khiển thực thì mô hình ảo với thuật toán điều khiển trên Simulink của MATLAB là hợp lý vì các lý do: thuận lợi, hiệu quả và ít tốn kém. Bài báo này giới thiệu các bước xây dựng mô hình con lắc ngược trên Simulink của MATLAB và thuật toán điều khiển con lắc ngược bằng giải thuật fuzzy như là một ví dụ về giải thuật điều khiển. Với các công cụ được tạo ra là mô hình con lắc ngược và các thuật giải điều khiển có thể được sử dụng là bài thực tập cho môn học điều khiển tự động.

1. Xây dựng mô hình con lắc ngược dạng quay

Hệ con lắc ngược được mô tả trên hình (1) gồm các phần tử:

– Động cơ.

– Hai thanh: thanh ngắn và thanh dài, thanh ngắn một đầu liên kết chặt với đầu trục của motor, thanh dài một đầu liên kết tự do với thanh ngắn thông qua cảm biến đo góc φ đặt ở đầu còn lại của thanh ngắn

– Hai cảm biến đo góc: Cảm biến đo góc θ đặt ở đầu trục của động cơ, cảm biến đo góc φ đặt ở đầu cuối thanh ngắn, như đã nói ở trên (hình 1).

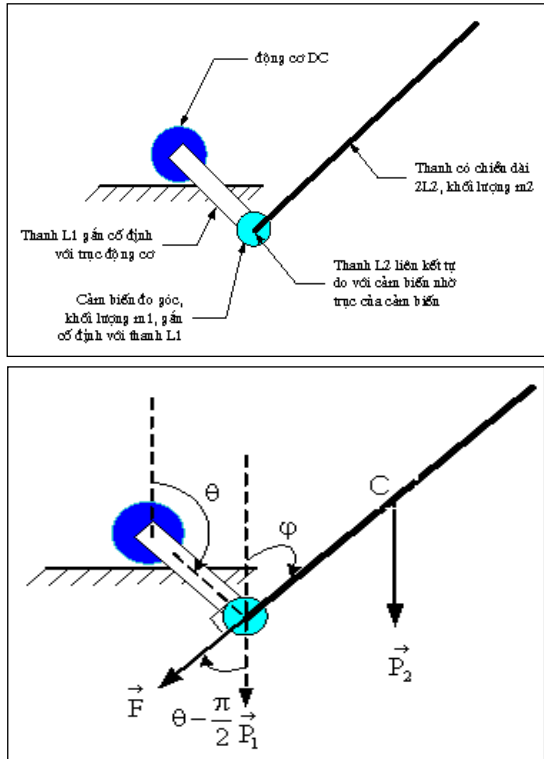
Động cơ có momen quán tính I_0 đối với trục quay O, chịu momen quay M_0

Cảm biến đo góc (M) để đo góc giữa thanh L1 và thanh L2 đặt cuối thanh L1, có khối lượng m_1 , $OM = L_1$, momen quán tính đối với trục quay O là $I_1 = m_1 L_1^2$. Thanh L_1 có khối lượng không đáng kể so với cảm biến đo góc M.

Thanh L2 có khối tâm C, chiều dài $2L_2$, khối lượng m_2 , momen quán tính đối với C là:

$$I_2 = \frac{1}{12} m_2 (2L_2)^2 = \frac{1}{3} m_2 L_2^2$$

Cảm biến đo góc M (encoder) và thanh L_2 liên kết tự do không có ma sát.



Hình 1: Mô hình con lắc ngược dạng quay. Mô tả mô hình (trên); Phân tích lực (dưới).

Các lực ngoài : Momen quay của motor M_0 , tương đương lực F đặt tại M

$$\vec{F} \perp \vec{OM} \text{ và } |\vec{F}| = \frac{M_0}{L_1}$$

Trọng lực $P_1 = m_1 g$, đặt tại M

Trọng lực $P_2 = m_2 g$, đặt tại C .

Phương trình Lagrange: Hệ có hai bậc tự do, chọn θ , φ làm các tọa độ suy rộng

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \theta} = Q_1 \quad (1a)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = Q_2 \quad (1b)$$

Trong đó T : là động năng của toàn hệ.

Q_1 : Là lực suy rộng 1.

Q_2 : Là lực suy rộng 2.

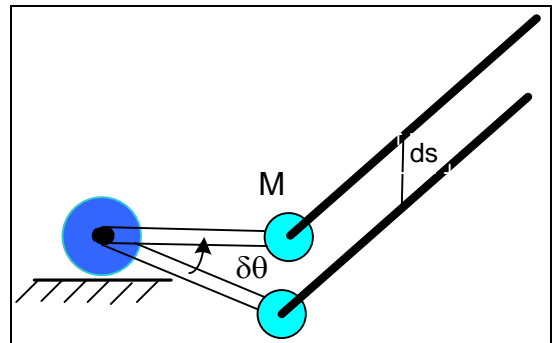
Tính Q_1 và Q_2 : Theo các công thức:

$$\delta A_1 = Q_1 \delta \theta \text{ và } \delta A_2 = Q_2 \delta \varphi.$$

Trong đó δA_1 (hay δA_2) là công của lực khi cho θ (hay φ) thay đổi một lượng

$\delta \theta$ (hay $\delta \varphi$) giữ tọa độ còn lại φ (hay θ) không đổi.

Tính Q_1 : Khi cho θ thay đổi một lượng $\delta \theta$ và giữ φ không đổi thì cả 3 lực \vec{F} , \vec{P}_1 , \vec{P}_2 đều sinh công



Hình 2. Khi θ thay đổi một lượng $\delta \theta$, khối tâm C , M đều di chuyển một đoạn ds .

$$\delta A_1 = \vec{F} \cdot d\vec{s} + \vec{P}_1 \cdot d\vec{s} + \vec{P}_2 \cdot d\vec{s}$$

$$|d\vec{s}| = l_1 \delta \theta$$

$$\vec{F} \cdot d\vec{s} = F l_1 \delta \theta$$

$$\vec{P}_1 \cdot d\vec{s} = P_1 |d\vec{s}| \cos(\vec{P}_1, d\vec{s})$$

$$(\vec{P}_1, d\vec{s}) = \theta - \frac{\pi}{2}, \cos\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right) = \sin \theta$$

$$\vec{P}_1 \cdot d\vec{s} = P_1 l_1 \sin \theta \delta \theta = m_1 g l_1 \sin \theta \delta \theta$$

Do $\varphi = \text{const}$ nên thanh tịnh tiến, do đó

tâm C cũng di chuyển một vector $d\vec{s}$ như M

$$\Rightarrow \vec{P}_2 \cdot d\vec{s} = P_2 l_1 \sin \theta \delta \theta$$

$$\text{Vậy } \delta A_1 = (F l_1 + P_1 l_1 \sin \theta + P_2 l_1 \sin \theta) \delta \theta$$

$$\delta A_1 = Q_1 \delta \theta$$

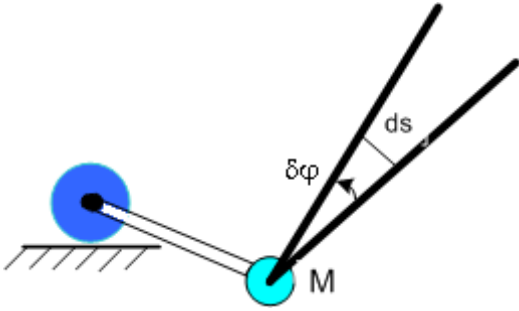
$$\Rightarrow Q_1 = Fl_1 + P_1 l_1 \sin \theta + P_2 l_1 \sin \theta$$

Tính Q_2 : Cho φ thay đổi một lượng $\delta \varphi$, giữ θ không đổi, khi đó chỉ có P_2 sinh công

$$\delta A_2 = \vec{P}_2 \cdot d\vec{s} = \left| \vec{P}_2 \right| \left| d\vec{s} \right| \cos \left(\vec{P}_2, d\vec{s} \right)$$

$$\left| d\vec{s} \right| = l_2 \delta \varphi$$

$$\left(\vec{P}_2, d\vec{s} \right) = \frac{\pi}{2} - \varphi, \quad \cos \left(\frac{\pi}{2} - \varphi \right) = \sin \varphi$$



Hình 3. Khi φ thay đổi một lượng $\delta \varphi$ chỉ có khối tâm C di chuyển một đoạn ds

$$\delta A_2 = P_2 l_2 \sin \varphi \delta \varphi$$

$$\delta A_2 = Q_2 \delta \varphi$$

$$\text{Vậy } Q_1 = Fl_1 + P_1 l_1 \sin \theta + P_2 l_1 \sin \theta \quad (2a)$$

$$\text{Và } Q_2 = P_2 l_2 \sin \varphi \quad (2b)$$

Tính động năng của hệ: $T = T_0 + T_1 + T_2$

$$T_0: \text{động năng của motor, } T_0 = \frac{1}{2} I_0 \dot{\theta}^2$$

T_1 : động năng của sensor đo góc M,

$$T_1 = \frac{1}{2} I_1 \dot{\theta}^2 = \frac{1}{2} m_1 l_1^2 \dot{\theta}^2$$

T_2 : động năng của thanh l_2 ,

$$T_2 = \frac{1}{2} m_2 V_C^2 + \frac{1}{2} I_2 \dot{\varphi}^2$$

Biểu thức trên cho thấy động năng $T_2 =$ động năng tịnh tiến của khối tâm C

$$\left(\frac{1}{2} m_2 V_C^2 \right) + \text{động năng quay quanh C}$$

$$\left(\frac{1}{2} I_2 \dot{\varphi}^2 \right).$$

$$\vec{V}_C = \vec{OC} = \vec{OM} + \vec{MC}$$

$$V_C^2 = \left(\vec{OM} \right)^2 + \left(\vec{MC} \right)^2 + 2 \left| \vec{OM} \right| \left| \vec{MC} \right| \cos \left(\vec{OM}, \vec{MC} \right)$$

$$\left| \vec{OM} \right|^2 = \left| l_1 \dot{\theta} \right|^2 = l_1^2 \dot{\theta}^2$$

$$\left| \vec{MC} \right|^2 = \left| l_2 \dot{\varphi} \right|^2 = l_2^2 \dot{\varphi}^2$$

$$\text{Xét góc } \left(\vec{OM}, \vec{MC} \right) = \alpha$$

$$\text{Khi } \begin{cases} \dot{\theta} > 0 \\ \dot{\varphi} > 0 \end{cases} \text{ hay } \begin{cases} \dot{\theta} < 0 \\ \dot{\varphi} < 0 \end{cases}, \quad \alpha = (\theta - \varphi)$$

$$\text{Khi } \begin{cases} \dot{\theta} > 0 \\ \dot{\varphi} < 0 \end{cases} \text{ hay } \begin{cases} \dot{\theta} < 0 \\ \dot{\varphi} > 0 \end{cases},$$

$$\alpha = \pi - (\theta - \varphi)$$

Do đó trong mọi trường hợp

$$2 \left| \vec{OM} \right| \left| \vec{MC} \right| \cos \alpha = 2 l_1 l_2 \left| \dot{\theta} \right| \left| \dot{\varphi} \right| \cos \alpha$$

$$= 2 l_1 l_2 \dot{\theta} \dot{\varphi} \cos(\theta - \varphi)$$

Vậy

$$\frac{1}{2} m_2 V_C^2 = \frac{1}{2} m_2 \left[l_1^2 \dot{\theta}^2 + l_2^2 \dot{\varphi}^2 + 2 l_1 l_2 \dot{\theta} \dot{\varphi} \cos(\theta - \varphi) \right]$$

Động năng quay quanh C:

$$\frac{1}{2} I_2 \dot{\varphi}^2 = \frac{1}{2} \left(m_2 \frac{l_2^2}{3} \right) \dot{\varphi}^2$$

$$= \frac{1}{6} m_2 l_2^2 \dot{\varphi}^2$$

\Rightarrow động năng toàn phần T

$$T = \frac{1}{2} I_0 \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} m_1 l_1^2 \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} m_2 l_1^2 \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} m_2 l_2^2 \dot{\varphi}^2 + m_2 l_1 l_2 \dot{\theta} \dot{\varphi} \cos(\theta - \varphi) + \frac{1}{6} m_2 l_2^2 \dot{\varphi}^2$$

$$T = \frac{1}{2} [I_0 + m_1 l_1^2 + m_2 l_1^2] \dot{\theta}^2 + \frac{2}{3} m_2 l_2^2 \dot{\varphi}^2 + m_2 l_1 l_2 \dot{\theta} \dot{\varphi} \cos(\theta - \varphi) \quad (3)$$

Tính $\frac{\partial T}{\partial \dot{\theta}}$, $\frac{\partial T}{\partial \dot{\theta}}$, $\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}}$ và $\frac{\partial T}{\partial \varphi}$ để thay vào biểu thức (1a) và (1b)

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\theta}} = [I_0 + m_1 l_1^2 + m_2 l_1^2] \dot{\theta} + m_2 l_1 l_2 \dot{\varphi} \cos(\theta - \varphi) \quad (4a)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \theta} = -m_2 l_1 l_2 \dot{\theta} \dot{\varphi} \sin(\theta - \varphi) \quad (4b)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} = \frac{4}{3} m_2 l_2^2 \dot{\varphi} + m_2 l_1 l_2 \cos(\theta - \varphi) \quad (4c)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \varphi} = m_2 l_1 l_2 \dot{\theta} \dot{\varphi} \sin(\theta - \varphi) \quad (4d)$$

$$\frac{d}{dt} \left\{ [(I_0 + m_1 l_1^2 + m_2 l_1^2) \dot{\theta}] + m_2 l_1 l_2 \dot{\varphi} \cos(\theta - \varphi) \right\} + m_2 l_1 l_2 \dot{\theta} \dot{\varphi} \sin(\theta - \varphi)$$

$$= F l_1 + P_1 l_1 \sin \theta + P_2 l_2 \sin \theta \quad (5a)$$

$$\frac{d}{dt} \left\{ \frac{1}{3} m_2 l_2^2 \dot{\varphi} + m_2 l_1 l_2 \dot{\theta} \cos(\theta - \varphi) \right\} - m_2 l_1 l_2 \dot{\theta} \dot{\varphi} \sin(\theta - \varphi) = P_2 l_2 \sin \varphi \quad (5b)$$

Khai triển phương trình (5a) và (5b). Phương trình (5a):

$$\text{Xét } \frac{d}{dt} \left[\dot{\varphi} \cos(\theta - \varphi) \right] = \ddot{\varphi} \cos(\theta - \varphi) - \dot{\varphi} \sin(\theta - \varphi) \cdot (\dot{\theta} - \dot{\varphi})$$

Vậy phương trình (5a) \Leftrightarrow

$$(I_0 + m_1 l_1^2 + m_2 l_1^2) \ddot{\theta} + m_2 l_1 l_2 \ddot{\varphi} \cos(\theta - \varphi) + m_2 l_1 l_2 \dot{\varphi}^2 \sin(\theta - \varphi)$$

$$= F l_1 + P_1 l_1 \sin \theta + P_2 l_2 \sin \theta \quad (6a)$$

Phương trình (5b): Tương tự như ở trên

$$\frac{d}{dt} \left[\dot{\theta} \cos(\theta - \varphi) \right] = \ddot{\theta} \cos(\theta - \varphi) - \dot{\theta} \sin(\theta - \varphi) \cdot (\dot{\theta} - \dot{\varphi})$$

Vậy phương trình (5b) \Leftrightarrow

$$\frac{4}{3} m_2 l_2^2 \ddot{\varphi} + m_2 l_1 l_2 \ddot{\theta} \cos(\theta - \varphi) - m_2 l_1 l_2 \dot{\theta}^2 \sin(\theta - \varphi) = P_2 l_2 \sin \varphi \quad (6b)$$

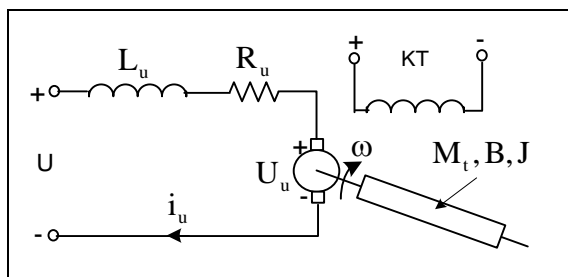
Vậy hệ phương trình chuyển động của hệ là:

$$(I_0 + m_1 l_1^2 + m_2 l_1^2) \ddot{\theta} + m_2 l_1 l_2 \cos(\theta - \varphi) \ddot{\varphi} + m_2 l_1 l_2 \sin(\theta - \varphi) \dot{\varphi}^2$$

$$-(P_1 l_1 + P_2 l_2) \sin \theta - F l_1 = 0 \quad (7a)$$

$$\frac{4}{3} m_2 l_2^2 \ddot{\varphi} + m_2 l_1 l_2 \cos(\theta - \varphi) \ddot{\theta} - m_2 l_1 l_2 \sin(\theta - \varphi) \dot{\theta}^2 - P_2 l_2 \sin \varphi = 0 \quad (7b)$$

- Quan hệ momen quay M_o của động cơ DC và điện áp tác dụng $u(t)$:



Hình 4. Sơ đồ tương đương của động cơ một chiều

Các ký hiệu: M_t : momen tải; B : hệ số ma sát; J : momen quán tính

Phương trình cân bằng đối với momen trên trục động cơ

$$M_o = M_t + M_{MS} + J \frac{d\omega}{dt} \quad (8)$$

$$M_o = K\Phi i_u \quad (9)$$

$$M_{MS} = B\omega, \quad \omega: \text{ vận tốc góc trục động}$$

cơ

Lấy biến đổi Laplace (8) và (9), được:

$$M_o(S) = M_t(S) + M_{MS}(S) + SJ\omega(S) \quad (10)$$

$$M_o(S) = K\Phi I_u(S) \quad (11)$$

viết phương trình mạch phản ứng ở hình (4):

$$U(S) = E_u(S) + R_u I_u(S) + S L_u I_u(S) \quad (12)$$

$$E_u(S) = K\Phi \omega(S) \quad (13)$$

Trong mô hình điều khiển con lắc ngược, động cơ hoạt động ở chế độ nhích qua nhích lại, nên $E_u(S) = 0$. Điện áp tác dụng là điện áp xung điều chế độ rộng có nhiều họa tần bậc cao, nên $|S L_u| \gg R_u$.

Đơn giản (12) như sau:

$$U(S) = S L_u I_u(S) \quad (14)$$

$$M_o(S) = K\Phi \frac{U(S)}{S L_u} \quad (15)$$

$$\text{Mà } F(S) = \frac{M_o(S)}{I_l} \Rightarrow F(S) = \frac{K\Phi U(S)}{S L_u I_l} \quad (16)$$

Hàm truyền tuyến tính hoá của hệ con lắc: Từ phương trình chuyển động của hệ (7a), (7b) được viết lại bằng cách đặt lại các hệ số như sau:

$$a\ddot{\theta} + b\ddot{\varphi} + c\sin(\theta - \varphi)\dot{\varphi}^2 + d\sin\theta + eU = 0 \quad (17)$$

$$f\ddot{\varphi} + k\cos(\theta - \varphi)\ddot{\theta} + h\sin(\theta - \varphi)\dot{\theta}^2 + i\sin\varphi = 0 \quad (18)$$

$$\text{Với } a = I_o + m_1 l_1^2 + m_2 l_2^2; \quad b = c = m_2 l_1 l_2;$$

$$d = -(P_1 l_1 + P_2 l_2); \quad e = \frac{K\Phi}{L_u}$$

$$f = \frac{4}{3} m_2 l_2^2; \quad k = m_2 l_1 l_2; \quad h = -m_2 l_1 l_2;$$

$$i = -P_2 l_2$$

$$\text{Từ (17) và (18)} \Rightarrow$$

$$\ddot{\theta} = \frac{eU - d\sin\theta - c\sin(\theta - \varphi)\dot{\varphi}^2 + \frac{bh}{f}\cos(\theta - \varphi)\sin(\theta - \varphi)\dot{\theta}^2 + \frac{bi}{f}\cos(\theta - \varphi)\sin\varphi}{a - \frac{bk}{f}\cos^2(\theta - \varphi)}$$

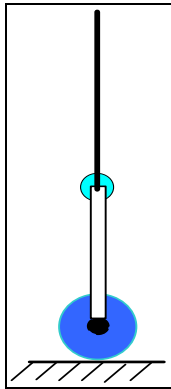
$$\ddot{\varphi} = \frac{\frac{-ke}{a}U\cos(\theta - \varphi) + \frac{ck}{a}\cos(\theta - \varphi)\sin(\theta - \varphi)\dot{\varphi}^2 + \frac{bh}{a}\cos(\theta - \varphi)\sin(\theta - \varphi) - h\sin(\theta - \varphi)\dot{\theta}^2 - i\sin\varphi}{f - \frac{bk}{a}\cos^2(\theta - \varphi)}$$

Để tiện cho việc mô phỏng trong Simulink, ta đặt lại các hệ số, \Rightarrow

$$\ddot{\theta} = \frac{e1U + e2\cos(\theta - \varphi)\sin(\theta - \varphi)\dot{\theta}^2 + e3\cos(\theta - \varphi)\sin(\varphi) + e4\sin(\theta - \varphi)\dot{\varphi}^2 + e5\sin\theta}{e6 + e7\cos^2(\theta - \varphi)}$$

$$\ddot{\varphi} = \frac{e8U\cos(\theta - \varphi) + e9\cos(\theta - \varphi)\sin(\theta - \varphi)\dot{\varphi}^2 + e10\cos(\theta - \varphi)\sin(\theta - \varphi) + e11\sin(\theta - \varphi)\dot{\theta}^2 + e12\sin\varphi}{e13 + e14\cos^2(\theta - \varphi)}$$

Hai phương trình trên được sử dụng như mô hình toán của hệ con lắc ngược để mô phỏng bằng Simulink của MATLAB. Hệ con lắc ngược được điều khiển sao cho $\theta \approx 0^0$ và $\varphi \approx 0^0$ như hình sau



Hình 5. Trạng thái con lắc ngược muốn điều khiển $\theta \approx 0^0$ và $\varphi \approx 0^0$.

Ta tuyến tính hóa 2 phương trình chuyển động (17) và (18) tại điểm hoạt động $\theta \approx 0^0$ và $\varphi \approx 0^0$

$$\Rightarrow a\ddot{\theta} + b\ddot{\varphi} = eU \quad (19)$$

$$\text{và } f\ddot{\varphi} + k\ddot{\theta} = 0 \quad (20)$$

Từ hai phương trình trên \Rightarrow

$$\ddot{\theta}\left(a - \frac{bk}{f}\right) = eU \quad (21)$$

$$\text{và } \ddot{\varphi}\left(b - \frac{af}{k}\right) = eU \quad (22)$$

Lấy biến đổi Laplace hai phương trình trên với các điều kiện đầu bằng không

$$\Rightarrow \frac{\theta(S)}{U(S)} = \frac{e}{S^2\left(a - \frac{bk}{f}\right)} = \frac{K_\theta}{S^2} \quad (23)$$

$$\text{với } K_\theta = \frac{e}{\left(a - \frac{bk}{f}\right)} \quad (24)$$

$$\Rightarrow \frac{\varphi(S)}{U(S)} = \frac{e}{S^2\left(b - \frac{ak}{f}\right)} = \frac{K_\varphi}{S^2} \quad (25)$$

$$\text{với } K_\varphi = \frac{e}{\left(b - \frac{ak}{f}\right)} \quad (26)$$

Hàm truyền (23) và (24) là hàm truyền tuyến tính hóa của hệ con lắc ngược, từ hàm truyền ta biết được quỹ đạo nghiệm nằm ở giới hạn ổn định (miền bên trái trục ảo) và không ổn định (miền bên phải trục ảo). Với các thông số mô hình tự đặt phù hợp với các mô hình trong thực tế như sau: hệ số $Lu = 0.1H$, khối lượng thanh ngắn m_1 bỏ qua so với khối lượng sensor đo góc M là $0.3kg$, khối lượng thanh dài $m_2 = 0.12kg$, chiều dài $\frac{1}{2}$ thanh dài $L_2 = 0.25m$, chiều dài thanh ngắn $L_1 = 0.17m$, gia tốc trọng trường $g = 9.81 m/s^2$, cho ta $K_\theta = 7348$ và $K_\varphi = 3747$.

Viết S Function tạo hình ảnh trực quan con lắc ngược. Ngoài việc dùng scope để đo và ghi lại trạng thái θ , φ , $\dot{\theta}$, $\dot{\varphi}$, S function được viết có tên pndanim2 tạo hình ảnh con lắc ngược và chuyển các thông θ và φ vào hệ con lắc ngược là góc tương ứng của thanh L_1 , thanh L_2 so với phương thẳng đứng nhằm tạo hình ảnh trực quan con lắc chuyển động. Khối pndanim2 được sử dụng trên sơ đồ khối hình (6).

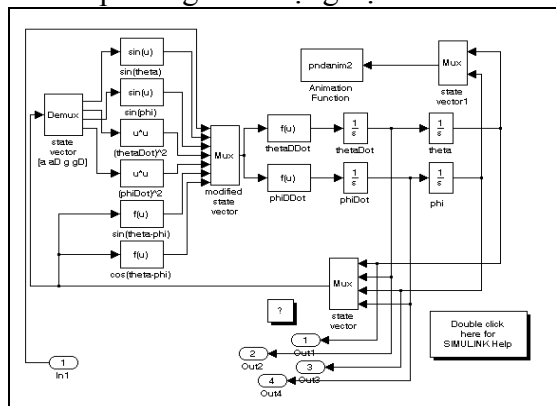
Kiểm chứng các phương trình động học con lắc ngược. Để kiểm chứng các phương trình động học của con lắc ngược, ta dùng SIMULINK của MATLAB xây dựng mô hình mô phỏng con lắc ngược từ các phương trình động học. Kết quả chạy mô phỏng với $u=0$ (động cơ không được tác động điện áp), θ và φ đặt giá trị ban đầu bất kỳ, cho ta thấy:

– Hình ảnh hai thanh con lắc từ từ rơi xuống và dao động tự do.

– Biên độ dao động không có hiện tượng suy giảm cũng như tăng dần, điều này có nghĩa là năng lượng được bảo toàn, vì ma sát trong hệ con lắc được bỏ qua trong quá trình xây dựng các phương trình động học.

– Hai thanh ngắn và dài dao động với chu kỳ dao động riêng, ta thấy sau một khoảng thời gian vị trí hai thanh này trở về lại vị trí ban đầu ($t=0$).

Với kết quả kiểm chứng trên ta có thể nói các phương trình động học là chính xác.



Hình 6. Sơ đồ mô hình mô phỏng con lắc ngược bằng SIMULINK

2. Thuật toán fuzzy điều khiển cho con lắc ngược đã xây dựng mô hình

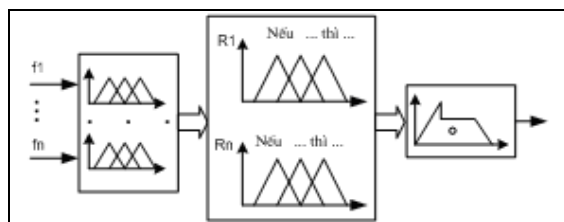
Giới thiệu điều khiển mờ: Điều khiển mờ (Fuzzy) hoàn toàn khác với các phương pháp điều khiển kinh điển, điều khiển mờ được biểu diễn bằng các quy tắc nếu – thì, vì vậy nó gần gũi với ngôn ngữ và sự biểu diễn tri thức của con người. Bộ điều khiển mờ là bộ điều khiển bằng ngôn ngữ cấp cao và trình biên dịch sẽ chuyển các quy tắc này thành giải thuật điều khiển mờ. Một đặc điểm của điều khiển mờ là điều khiển tốt các đối tượng mà không cần biết mô hình toán, điều này cũng có nghĩa tham số của mô hình thay đổi trong một phạm vi lớn hoặc mô hình phi tuyến, mà bộ điều khiển mờ vẫn hoạt động tốt.

Các nguyên lý điều khiển “mờ” tuy có khác về số các mệnh đề điều kiện song đều có một cấu trúc:

“**NẾU** điều kiện 1 **VÀ** ... **VÀ** điều kiện n **THÌ**

quyết định 1 VÀ...VÀ quyết định m ”

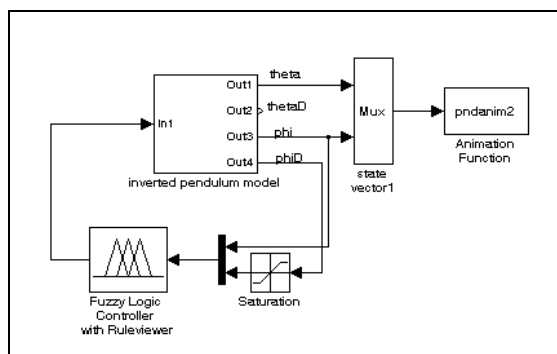
Bộ điều khiển mờ bao gồm khâu fuzzy hoá, thiết bị thực hiện luật hợp thành và khâu giải mờ có sơ đồ như ở hình 7.



Hình 7: Bộ điều khiển mờ căn bản

– **Các hàm thành viên:** Hàm Trimf có dạng hình tam giác. Hàm Gbellmf có dạng hình chuông. Hàm Gaussmf có dạng hình Gauss. Hàm Sigmf...

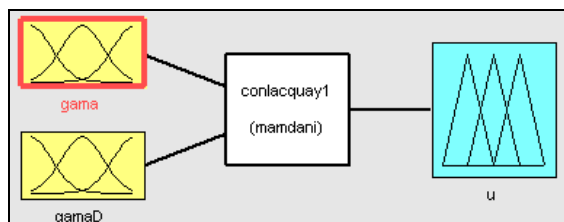
– **Luật giải mờ:** Rõ hoá tập mờ là biến đổi một đại lượng mờ thành một đại lượng rõ, chính xác từ một tập thành một trị, quá trình này gọi là giải mờ. Sau đây là các phương pháp giải mờ: phương pháp độ thuộc cực đại, phương pháp trọng tâm, phương pháp trung bình có trọng lượng, phương pháp trung bình của độ thuộc cực đại, phương pháp trọng tâm của tổng, phương pháp trọng tâm vùng có diện tích lớn nhất.



Hình 8: Sơ đồ mô phỏng con lắc ngược điều khiển bằng giải thuật mờ

Toàn khối mô hình con lắc ngược bằng SIMULINK được tích hợp trong khối Inverted pendulum model trên hình 8, sử dụng đại lượng phản hồi là phi (φ), phiDot.

Các hàm thành viên :



Các quy luật NẾU-THÌ :

1. If [gama is MM] then (u is mf1) (1)
2. If [gama is M] then (u is mf2) (1)
3. If [gama is P] then (u is mf4) (1)
4. If [gama is PP] then (u is mf5) (1)
5. If [gama is OK] and [gamaD is MR] then (u is mf2) (1)
6. If [gama is OK] and [gamaD is PR] then (u is mf4) (1)

Mô hình con lắc ngược với điều kiện đầu $\varphi = \pm 30^\circ$, $\theta = \pm 20^\circ$. Điều khiển bằng giải thuật Fuzzy với hai đại lượng phản hồi là φ và $\dot{\varphi}$ sau khoảng thời gian 0.4s con

lắc ngược đã đứng thẳng, đây là trạng thái con lắc ngược muốn điều khiển.

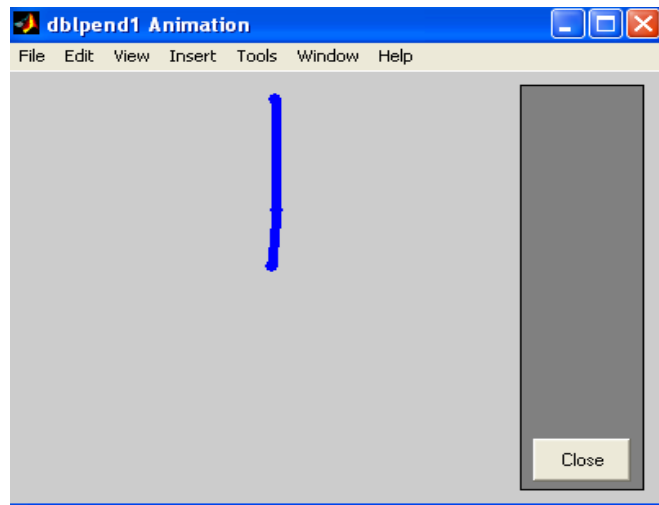
Các nhận xét về điều khiển fuzzy

➤ Là phương pháp điều khiển tiệm cận chính xác (gần chính xác).

➤ Không cần mô tả đối tượng chính xác bằng hàm truyền hay các phương pháp tương đương.

➤ Dễ áp dụng cho một lớp rộng các đối tượng.

➤ Là phương pháp điều khiển theo suy nghĩ như bộ óc người.



Hình 8. Hình ảnh trực quan mô phỏng con lắc ngược trên Simulink

3. Kết luận

Bài báo đã trình bày đầy đủ cách xây dựng hệ phương trình chuyển động và hàm truyền hệ con lắc ngược, từ hệ phương trình chuyển động đi đến việc xây dựng mô hình con lắc ngược trên Simulink của MATLAB. Với mô hình đã được tạo ra đây là công cụ ảo

rất tốt dùng để kiểm nghiệm các thuật giải điều khiển, từ đây ta có thể xây dựng các bài thực tập cho môn học điều khiển tự động. Các bài thực tập ảo trên Simulink của MATLAB thể hiện các ưu điểm: chính xác, nhanh chóng và ít tốn kém.

BUILDING A MODEL OF INVERTED PENDULUM ROTATED FORM ON MATLAB SIMULINK SOFTWARE

Nguyen Van Son

Thu Dau Mot University

ABSTRACT

Inverted pendulum model with high instability is typically used as a controled model to test control algorithms. To create a inverted pendulum simulation engine on MATLAB Simulink needs to build the inverted pendulum motion equations, this work is presented in this paper and to have a inverted pendulum animation when simulating needs to build the S

function for animation block. There are several different control algorithms such as PID, optimal, adaptive ... In this paper also briefly present the fuzzy algorithm as an example of how to use virtual tools to verify the science of virtual instruments have been created. Virtual inverted pendulum model was created to serve as a good tool for practice on computer for automatic control course with reasons: technical advantages, efficient and less costly.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Phan xuân Minh, Nguyễn Doãn Phước, *Lý thuyết điều khiển mờ*, NXB Khoa học Kỹ thuật, 2002.
- [2] Lotfi A zadeh, *Fuzzy Logic ToolBox for Use with MATLAB*, 1995.
- [3] Nguyễn Thương Ngô, *Lý thuyết điều khiển tự động hiện đại – điều khiển tối ưu, điều khiển thích nghi*, NXB Khoa học Kỹ thuật, 1999.
- [4] J.M. Maciejowski, *Multivariable Feedback Design*, Addison-Wesley Publishing Company, 1989.
- [5] Brian D.O. Anderson, John B. Moore, *Optimal Control-Linear Quadratic Methods*, Prentice-Hall International, 1989.
- [6] A.R. Woodyatt, R.H. Middleton & J.S. Freudenberg, *Fundamental Constraints For The Inverted Pendulum Problem*, Technical report EE9716.
- [7] Mark W. Spong and Laurent Praly, *Control Of Underactuated Mechanical System Using Switching And Saturation*, University of Illinois, February 10/1999.
- [8] Jeff S. Shamma & Michael Athans, *Gain Scheduling: Potential Hazards and Possible Remedies*, IEEE June 1992.