Tạp chí CƠ HỌC, tập XIII, 1991, số 3 (22 — 25)

VỀ MỘT THUẬT TOÁN ĐIỀU KHIỂN ROBOT TỰ HÀNH

NGUYỄN THÀNH MẬU

Những khái niệm cơ bản của động lực học rô bốt được trình bày trong [1, 2, 3, 4, 5]. Trong [1, 2, 3, 4] các tác giả dùng thuật điều khiển sau: Điểm treo chân O_2 của rô bốt được đưa lên qũy đạo chương trình với độ cao H định trước và vận tốc nằm ngang V_0 - const từ trạng thái đứng yên sau một khoảng thời gian T_0.

Qũy đạo ta mong muốn điều khiển rô bốt đạt đến gọi là qũy đạo chương trình.

Qũy đạo thực tế rô bốt thực hiện được là qũy đạo thực.

Lượng không tương thích chính là sai số giữa hai loại qũy đạo nói trên. Giá trị không tương thích này biểu diễn qua hiệu số các thông số định vị và hiệu số các tốc độ của rô bốt trên các qũy đạo nói trên. Mục đích việc điều khiển là: Lượng không tương thích này bằng không hoặc càng bé càng tốt.

Thuật điều khiển trong [1, 2, 3, 4] khi chuẩn hóa, ở thời điểm ban đầu, có đặc tính hàm đen ta [6]. Do đó động cơ điều khiển phải chịu đựng một chế độ quá tải và "cái hích ban đầu V_0 - const" làm cho hệ số trượt chân của rô bốt [6] rất xấu.

Ở bài báo này tác giả trình bày một hướng nghiên cứu mới về thuật điều khiển rô bốt tự hành. Thuật điều khiển mà tác giả tìm được ở đây đảm bảo được các yêu cầu truyền thống: Điểm treo chân O_2 được đưa lên độ cao H với tốc độ nằm ngang V_0 - const sau khoảng thời gian T_0, từ trạng thái đứng yên. Thuật điều khiển này là những hàm "trơn" trong suốt quá trình điều khiển vì vậy động cơ điều khiển làm việc ở chế độ điều hòa.

1. PHÂN TÍCH THUẬT ĐIỀU KHIỂN HIỆN CÓ

Xét bài toán như [3, 4, 6]. Các giả thiết và các ký hiệu trong [3, 4, 6] giữ nguyên. Phương trình chuyển động của rô bốt tự hành một pha tựa gồm: Phương trình chuyển động của khối tâm O_3, phương trình biến thiên mô men động lượng của cả cơ hệ đối với điểm treo chân O_2, phương trình mô men cho chân tựa, các hệ thức hình học:

$$\begin{aligned}
&M\ddot{X}_3 = R_x; \qquad M\ddot{Y}_3 = R_y - Mg;\\
&I\ddot{\alpha}_3 = R_xY_2 - R_yX_2 + M\big(g+\ddot{Y}_2\big)L_3\sin\alpha_3 + M\ddot{X}_2L_3\cos\alpha_3;\\
&Q_2 = R_yX_2 - R_xY_2; \qquad Q_1 = R_yX_1 - R_xY_1;\\
&X_3 = X_2 - L_3\sin\alpha_3; \quad X_2 = X_1 - L_2\sin\alpha_2; \quad X_1 = -L_1\sin\alpha_1;\\
&Y_3 = Y_2 + L_3\cos\alpha_3; \quad Y_2 = Y_1 + L_2\cos\alpha_2; \quad Y_1 = L_1\cos\alpha_1;
\end{aligned} \tag{1.1}$$

$$\begin{pmatrix} Q_1 \\ Q_2 \end{pmatrix} = KF \begin{pmatrix} U_x \\ U_y \end{pmatrix}.$$

Điều kiện đầu của (1.1) là:

$$\begin{aligned} &X_2(0) = X_0; \quad \dot{X}_2(0) = 0; \quad \alpha_3(0) = \alpha_0; \\ &Y_2(0) = Y_0; \quad \dot{Y}_2(0) = 0; \quad \dot{\alpha}_3(0) = 0. \end{aligned} \tag{1.2}$$

Thuật điều khiển theo truyền thống có dạng:

$$\begin{aligned} U_x &= \dot{X}_2 - \dot{X}_{2np} + T_0^{-1}(X_2 - X_{2np}); \\ U_y &= \dot{Y}_2 - \dot{Y}_{2np} + T_0^{-1}(Y_2 - Y_{2np}). \end{aligned} \tag{1.3}$$

U_x, U_y Hàm điều khiển . X_2, Y_2, $\dot{X}_2$, $\dot{Y}_2$ Thông số định vị và vận tốc trên qũy đạo thực. Còn X_{2np}, Y_{2np}, $\dot{X}_{2np}$, $\dot{Y}_{2np}$ Thông số định vị và vận tốc trên qũy đạo chương trình.

Thường người ta chọn [1, 2, 3, 4]

$$U_x = \dot{X}_2 - V_0; \qquad U_y = \dot{Y}\_2 + T_0^{-1}(Y_2 - H). \tag{1.4}$$

Sau khi hạ bậc (1.1) và chuyển sang các biến U_x, U_y X_2, Y_2, Ω, α chuẩn hóa bằng cách đổi biến mới [3, 4]

$$T = T_* t; \; U_x = U_* u_x; \; X_i = L_* x_i; \; \Omega = \Omega_* \omega; \; R_x = R_* r_x; \; Q_j = Q_* q_j; v.v.\dots \tag{1.5}$$

Các đại lượng đặc trưng:

$$\begin{aligned} &L_* = H; \quad T_* = L_* V^{-1}; \quad \Omega_* = T_*^{-1}; \quad R_* = Mg; \\ &Q_* = R_* L_*; \quad U_* = Q_* K^{-1}; \quad K = L_* M T_1^{-1}. \end{aligned} \tag{1.6}$$

Khi đó hệ (1.1) như [3, 4, 6] được viết:

$$\begin{aligned} \mu \frac{du_x}{dt} &= r_x - \chi \ell_3 \big(\omega^2 \sin\alpha_3 - \frac{d\omega}{dt} \cos\alpha_3\big), \\ \mu \frac{du_y}{dt} &= r_y - 1 + \chi \ell_3 \big(\omega^2 \cos\alpha_3 + \frac{d\omega}{dt} \sin\alpha_3\big) + \tau_0^{-1}\big[\mu u_y - \chi \varepsilon_0^{-1}(y_2 - 1)\big], \end{aligned}$$

$$\frac{dx_2}{dt} = \mu \chi^{-1} u_x + 1, \qquad \frac{d\alpha_3}{dt} = \omega,$$

$$\frac{dy_2}{dt} = \mu \chi^{-1} u_y - \varepsilon_0^{-1}(y_2 - 1),$$

$$\rho^2 \chi \frac{d\omega}{dt} = r_x y_2 - r_y x_2 + \big\{1 + \mu \frac{du_y}{dt} - \tau_0^{-1}\big[\mu u_y - \chi \tau_0^{-1}(y_2 - 1)\big]\big\} \ell_3 \sin\alpha_3 + \mu \frac{du_x}{dt} \ell_3 \cos\alpha_3,$$

$$\begin{aligned} x_2 &= x_1 - \ell_2 \sin\alpha_2, \qquad x_1 = -\ell_1 \sin\alpha_1, \\ y_2 &= y_1 + \ell_2 \cos\alpha_2, \qquad y_1 = \ell_1 \cos\alpha_1, \end{aligned}$$

$$\begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \end{pmatrix} = F \begin{pmatrix} u_x \\ u_y \end{pmatrix} = A_2 \begin{pmatrix} r_x \\ r_y \end{pmatrix}; \qquad A_2 = \begin{pmatrix} -y_1 & x_1 \\ -y_2 & x_2 \end{pmatrix}$$

$$\mu = T_1/T_* \ll 1; \quad \varepsilon_0 = T_0/T_*; \quad \chi = L_*/T_*^2 g; \quad \rho^2 = I/ML_*^2.$$

Công trình [4] đã giải hệ phương trình này và chỉ ra rằng sau thời gian $t = T_0$, rô bốt được đưa lên qũy đạo chương trình theo một đường parabol. Tuy nhiên người ta chưa xem xét đến giá trị $u_x(0)$ và $u_y(0)$ Tại thời điểm ban đầu chuyển động của rô bốt.

Chuẩn hóa (1.4). Thay (1.5) vào (1.4) được:

$$u_x = \frac{L_*}{U_* T_*}(\dot{x}_2 - 1); \qquad u_y = \frac{L_*}{U_* T_*}\left[\dot{y}_2 + \varepsilon_0^{-1}(y_2 - 1)\right].$$

Vì vậy:

$$u_x = \chi\mu^{-1}(\dot{x}_2 - 1); \qquad u_y = \chi\mu^{-1}\left[\dot{y}_2 + \tau_0^{-1}(y_2 - 1)\right].$$

Ở thời điểm ban đầu, từ (1.2) được:

$$u_x = \chi\mu^{-1}; \qquad |u_y(0)| = \chi\mu^{-1}\varepsilon_0^{-1}|y_0 - 1|. \tag{1.7}$$

Vì μ nhỏ nên $u_x(0)$, $u_y(0)$ có đặc tính hàm đen ta.

2. THUẬT ĐIỀU KHIỂN MỚI

Chọn các thông số của qũy đạo chương trình trong (1.3) như sau:

$$X_{2np} = V_0\left[T + T_0\left(e^{-T/T_0} - 1\right)\right] + X_{np}^0. \tag{2.1}$$

Ta được:

$$\dot{X}_{2np} = V_0\left(1 - e^{-T/T_0}\right),$$

X_{np}^0 - Hoành độ qũy đạo chương trình tại thời điểm ban đầu.

$$Y_{2np} = \frac{Y_{np}^0 - H}{T_2 - T_0}\left(T_2 e^{-T/T_2} - T_0 e^{-T/T_0}\right) + H; \quad -\dot{Y}_{2np} = \frac{Y_{np}^0 - H}{T_2 - T_0}\left(e^{-T/T_2} - e^{-T/T_0}\right), \tag{2.2}$$

H - Độ cao của qũy đạo chương trình, Y_{np}^0 - Tung độ qũy đạo chương trình tại thời điểm ban đầu $0 < T_2 < T_0$.

Thay (2.1) vào (1.3) được:

$$\begin{aligned}
U_x &= \dot{X}_2 - V_0\left(1 - e^{-T/T_0}\right) + T_0^{-1}\left\{X_2 - V_0\left[T + T_0\left(e^{-T/T_0} - 1\right)\right] - X_{np}^0\right\},\\
U_y &= \dot{Y}_2 - \frac{Y_{np}^0 - H}{T_2 - T_0}\left(e^{-T/T_2} - e^{-T/T_0}\right) + T_0^{-1}\left[Y_2 - \frac{Y_{np}^0 - H}{T_2 - T_0}\left(T_2 e^{-T/T_2} - T_0 e^{-T/T_0}\right) - H\right].
\end{aligned} \tag{2.3}$$

Chuẩn hóa (2.3) bằng phép đổi biến (1.5) được:

$$\begin{aligned}
u_x &= \chi\mu^{-1}\left\{\frac{dx_2}{dt} - \left(1 - e^{-\gamma t}\right) + \tau_0^{-1}x_2 - \tau_0^{-1}\left[t - \tau_0\left(e^{-\gamma t} - 1\right)\right] - \tau_0^{-1}x_{np}^0\right\},\\
u_y &= \chi\mu^{-1}\left\{\frac{dy_2}{dt} - \frac{\left(y_{np}^0 - 1\right)}{N_1}\left(e^{-\gamma_1 t} - e^{-\gamma t}\right) + \tau_0^{-1}\left[y_2 - \left(y_{np}^0 - 1\right)\left(N_2 e^{-\gamma_1 t} - N_3 e^{-\gamma t}\right) - 1\right]\right\},
\end{aligned} \tag{2.4}$$

ở đây

$$\gamma = \frac{T_*}{T_0}, \quad \gamma_1 = \frac{T_*}{T_2}, \quad N_1 = \frac{T_2 - T_0}{T_0}, \quad N_2 = \frac{T_2}{T_2 - T_0}, \quad N_3 = \frac{T_0}{T_2 - T_0}$$

Tại thời điểm ban đầu, theo (1.2) có:

$$|u_x(0)| = \chi\mu^{-1}|x_0 - x_{np}^0|, \qquad |u_y(0)| = \chi\mu^{-1}|y_0 - y_{np}^0|;$$

Do x_0, x_{np}^0, y_0, và y_{np}^0 là những giá trị tự chọn nên có thể làm cho $x_0 - x_{np}^0 = \mu s_1$, $y_0 - y_{np}^0 = \mu s_2$, khi đó

$$|u_x(0)| = \chi\tau_0^{-1}s_1; \quad |u_y(0)| = \chi\tau_0^{-1}s_2; \quad s_1,\ s_2 \sim 1. \tag{2.5}$$

Đây chính là điều mong muốn.

Nhận xét

Với cách chọn các thông số định vị (2.1) và (2.2) thì điểm treo chân O_2 từ trạng thái đứng yên, sau một khoảng thời gian T đủ lớn sẽ được đưa lên qũy đạo chương trình với độ cao H và vận tốc nằm ngang V_0 - const.

Những thông số định vị (2.1) và (2.2) làm cho hàm điều khiển (2.4) có dạng "trơn" trong suốt quá trình điều khiển, nhờ đó động cơ điều khiển làm việc ở chế độ điều hòa. Đây chính là điểm ưu việt của thuật điều khiển này so với các thuật điều khiển khác.

Tác giả xin chân thành cảm ơn giáo sư tiến sĩ I. V. Nôvôgiưlôv đã cho những chỉ dẫn qúy báu cho bài báo này.

Địa chỉ:
Trường Đại học Sư phạm Hà Nội 1

Nhận ngày 23/11/1990

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Белецкий В. В. Динамика двуногой ходбы. МТТ, № 3, 1975.
2. Белецкий В. В. Динамика двуногой ходбы. МТТ, № 4, 1975.
3. Новожилов И. В. Управление ногой шагающего аппарата в фазе опоры риж. Науч-исслед. ин-т ортопедии и травматологии. Тр. 13, 634-639,1976.
4. Болотин Ю. В., Новожилов И. В. Управление походкой шагающего аппарата. МТТ, № 3, 47-52, 1977.
5. Формальскии А. М. Перемешение антропомопфных механизмов. Наука, М., 1982.
6. Нгуен Тхань Мау. Об условиях непроскальзывания в начале движения двуногого шагающего аппарата. Вест. МГУ Сер, 1 мех-мат. № 2 1989.

РЕЗЮМЕ

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ УПРАВЛЕНИЯ ДВУНОГИМ ШАГАЮЩИМ РАБОТОМ

Вработе проведен анализ распространенного метода управления двуногим шагающим аппаратом в литерах. Выведен новый лучший метод управления.