Tạp chí CƠ HỌC, tập XV, 1993, số 1 (45 - 48)

VỀ PHẢN LỰC Ở CHÂN ROBOT TỰ HÀNH

PHẠM HUYỄN, NGUYỄN THÀNH MẬU

Để điều khiển chuyển động của robot, cần biết phản lực của mặt tựa đặt vào chân robot. Đặc biệt là trong pha đầu chuyển động của robot. Điều kiện không trượt chân của robot trong di chuyển một điểm tựa và hai điểm tựa đã được xác định trong [1, 3].

Trong [2] đã đề xuất một thuật toán điều khiển robot tự hành.

Ở bài báo này, các tác giả khảo sát chuyển động của robot dưới tác dụng của thuật điều khiển đã được đưa ra trong [2]. Kết quả cho thấy: Có thể chọn những thông số ban đầu của chuyển động để hệ số trượt chân có giá trị mong muốn.

1. PHƯƠNG TRÌNH CHUYỂN ĐỘNG

Giữ nguyên các giả thiết và các ký hiệu như trong [1, 3] phương trình chuyển động một pha tựa sau khi hạ bậc có dạng [2]

$$\begin{aligned}
&\dot U_X = M^{-1}R_X - L_3(\Omega^2\sin\alpha_3 - \dot\Omega\cos\alpha_3),\\
&\dot U_Y = M^{-1}R_Y - g + L_3(\Omega^2\cos\alpha_3 + \dot\Omega\sin\alpha_3) + T_0^{-1}\big[U_Y - T_0^{-1}(Y_2 - H)\big],\\
&I\dot\Omega = R_XY_2 - R_YX_2 + M(g+\ddot Y_2)L_3\sin\alpha_3 + M\ddot X_2L_3\cos\alpha_3,\\
&\dot X_2 = U_X + \dot X_{2np} + T_0^{-1}(X_2 - X_{2np});\\
&\dot Y_2 = U_Y + \dot Y_{2np} - T_0^{-1}(Y_2 - H),\\
&\begin{pmatrix} Q_1\\ Q_2\end{pmatrix} = KF\begin{pmatrix} U_X\\ U_Y\end{pmatrix} = A_2\begin{pmatrix} R_X\\ R_Y\end{pmatrix}\ ;\quad A_2 = \begin{pmatrix} -Y_1 & X_1\\ -Y_2 & X_2\end{pmatrix}.
\end{aligned}\tag{1.1}$$

U_X, U_Y chọn như (2.3) trong [2]:

$$U_X = \dot X_2 - V_0\big(1 - e^{-T/T_0}\big) + T_0^{-1}\Big\{X_2 - V_0\big[T + T_0\big(e^{-T/T_0} - 1\big)\big] - X^0_{np}\Big\},$$

$$U_Y = \dot Y_2 - \frac{Y^0_{np} - H}{T_2 - T_0}\big(e^{-T/T_0} - e^{-T/T_0}\big) + T_0^{-1}\Big[Y_2 - \frac{Y_{np} - H}{T_2 - T_0}\big(T_2e^{-T/T_2} - T_0e^{-T/T_0}\big) - H\Big]$$

chuẩn hóa hệ (1.1): đổi biến số

$$R_i = R_*r_i;\ T = T_*t;\ X_i = L_*x_i;\ U_i = U_*u_i;\ L_i = L_*\ell_i;\ \Omega = \Omega_*\omega_i;\quad i = x, y$$

các giá trị đặc trưng phải thỏa mãn hệ thức:

$$R_* = Mg;\ Q_* = R_*L_*;\ U_* = Q_*K^{-1};\ L_* = T_*V_0;\ L_* = H;\ K = L_*MT_1^{-1}.$$

với phép đổi biến trên, hệ (1.1) đưa về dạng không thứ nguyên:

$$\begin{aligned}
\mu\frac{du_x}{dt} &= r_x - \kappa\ell_3(\omega^2\sin\alpha_3 - \dot\omega\cos\alpha_3) - \eta e^{-t} + \mu u_x - \kappa(x_2 - x_{2np}),\\
\mu\frac{du_y}{dt} &= r_y - 1 + \kappa\ell_3(\omega^2\cos\alpha_3 + \dot\omega\sin\alpha_3) - \xi\big(e^{-\gamma_1t} - e^{-\gamma_2t}\big) + \mu u_y - \kappa(y_2 - y_{2np}),\\
\rho^2\kappa\frac{d\omega}{dt} &= r_xy_2 - r_yx_2 + \ell_3\sin\alpha_3\Big\{1 + \mu\dot u_y + \xi\big(e^{-\gamma_1t} - e^{-\gamma_2t}\big) - \big[\mu u_y - \kappa(y_2 - y_{2np})\big]\Big\} +\\
&\quad + \ell_3\cos\alpha_3\Big\{\mu\dot u_x + \eta e^{-t} - \big[\mu u_x - \kappa(x_2 - x_{2np})\big]\Big\},
\end{aligned}\tag{1.2}$$

$$\frac{dx_2}{dt} = \mu\kappa^{-1}u_x + \eta(1-e^{-t}) - (x_2 - x_{2np}),$$
$$\frac{dy_2}{dt} = \mu\kappa^{-1}u_y + n(e^{-\gamma_2 t} - e^{-\gamma_1 t}) - (y_2 - y_{2np}),$$
$$\begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \end{bmatrix} = F\begin{bmatrix} u_x \\ u_y \end{bmatrix} = A_2\begin{bmatrix} r_x \\ r_y \end{bmatrix}.$$

Chuẩn hóa U_x, U_y được hệ thức như (2.4) trong [2]

$$u_x = \kappa\mu^{-1}\Big\{\frac{dx_2}{dt} - \big(1-e^{-\gamma_2 t}\big) + \tau_0^{-1}x_2 - \tau_0^{-1}\big[t - \tau_0\big(e^{-\gamma_2 t}-1\big)\big] - \tau_0^{-1}x_{np}^0\Big\},$$
$$u_y = \kappa\mu^{-1}\Big\{\frac{dy_2}{dt} - \frac{(y_{np}^0-1)}{N_1}\big(e^{-\gamma_1 t} - e^{-\gamma_2 t}\big) + \tau_0^{-1}\big[y_2 - \big(y_{np}^0 - 1\big)\big(N_2e^{-\gamma_1 t} - e^{-\gamma_2 t}\big) - 1\big]\Big\}. \tag{1.3}$$

ɣ đây:

$$\gamma_1 = \frac{T_*}{T_2}; \quad \gamma_2 = \frac{T_*}{T_0}; \quad \kappa = \frac{L_*}{gT_*^2}; \quad \eta = \frac{V_0}{gT_*};$$
$$\xi = \frac{Y_{np}^0 - H}{gT_*(T_2 - T_0)}; \quad n = \frac{T_*(Y_{np}^0 - H)}{L_*(T_2 - T_0)}$$

:oi: $T_0 \sim T_*$ còn $T_1 \sim T_2 \ll T_*$ khi đó $\mu = T_2/T_0 \ll 1$. Điều kiện đầu cho (1.2) chọn như sau:

$$\dot{x}_2(0) = \dot{y}_2(0) = \dot{\alpha}_3(0) = 0; \quad y_2(0) = y_0; \quad x_2(0) = x_0; \quad \alpha_3(0) = \alpha_0. \tag{1.4}$$

òn từ (1.3) có:

$$u_x(0) = \kappa(x_0 - x_{np}^0)\mu^{-1}; \quad u_y(0) = \kappa(y_0 - y_{np}^0)\mu^{-1}.$$

ếu chọn

$$\kappa(x_0 - x_{np}^0) = s_1\mu; \quad \kappa(y^0 - y_{np}^0) = s_2\mu.$$

hi đó:

$$u_x(0) = s_1; \quad u_y(0) = s_2; \quad s_1, s_2 \sim 1.$$

hay ω bằng giá trị của nó vào hai phương trình đầu của hệ (1.2), viết kết quả dưới dạng ma trận, ược

$$\mu B\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} u_x \\ u_y \end{bmatrix} = A_1\begin{bmatrix} r_x \\ r_y \end{bmatrix} + \mu B\begin{bmatrix} u_x \\ u_y \end{bmatrix} + C. \tag{1.5}$$

ɣ đó A_1, B như A_1, B của [3].

Trong biến r_x, r_y thì (1.5) có dạng:

$$\mu\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} r_x \\ r_y \end{bmatrix} = A_2^{-1}FB^{-1}A_1\begin{bmatrix} r_x \\ r_y \end{bmatrix} + \mu\begin{bmatrix} r_x \\ r_y \end{bmatrix} + A_2^{-1}FB^{-1}C_0, \tag{1.6}$$
$$C_0 = C - \mu\Big[\frac{d}{dt}(F^{-1}A_2)\Big]\begin{bmatrix} r_x \\ r_y \end{bmatrix}.$$

hư đã biết [3] điều kiện ổn định tiệm cận nghiệm của (1.6) là:

$$A_2^{-1}F\cdot B^{-1}A_1 = D_1\cdot D_2 = -E; \quad D_1 = A_2^{-1}F; \quad D_2 = B^{-1}A_1.$$

do đó:

$$\mu\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} r_x \\ r_y \end{bmatrix} = -\begin{bmatrix} r_x \\ r_y \end{bmatrix} + \mu\begin{bmatrix} r_x \\ r_y \end{bmatrix} - D_1^{-1}B^{-1}C_0,$$

$$\begin{aligned} \frac{dx_2}{dt} &= \mu\kappa^{-1}u_x + \eta(1-e^{-t}) - (x_2 - x_{2np}), \\ \frac{dy_2}{dt} &= \mu\kappa^{-1}u_y + n(e^{-\gamma_2 t} - e^{-\gamma_1 t}) - (y_2 - y_{2np}). \end{aligned} \tag{1.7}$$

2. XÁC ĐỊNH PHẢN LỰC

Giải hệ (1.7) bằng phương pháp tách chuyển động [4]
Nghiệm của (1.7) ở gần đúng bậc "0" theo μ là

$$\begin{bmatrix} \bar{r}_x^{(0)}(t) \\ \bar{r}_y^{(0)}(t) \end{bmatrix} = -D_1^{-1}B^{-1}C_0; \quad \frac{d}{dt}(\bar{x}^{(0)} - \bar{x}_{np}^{(0)}) = (\bar{x}^{(0)} - \bar{x}_{np}^{(0)}); \quad \frac{d}{dy}(\bar{y}^{(0)} - \bar{y}_{np}^{(0)}) = -(\bar{y}^{(0)} - \bar{y}_{np}^{(0)}).$$

giữ lại các số hạng bé cấp $\varepsilon = \rho^{-2}\ell$ được:

$$B = E; \quad C = \begin{bmatrix} -\eta e^{-t} \\ -1 - \xi(e^{-\gamma_2 t} - e^{-\gamma_1 t}) \end{bmatrix}; \quad D_1^{-1} = \frac{1}{\Delta}\begin{bmatrix} 1 - \varepsilon\bar{x}\sin\bar{\alpha} & \varepsilon\bar{x}\cos\bar{\alpha} \\ -\varepsilon\bar{y}\sin\bar{\alpha} & 1 + \varepsilon\bar{y}\cos\bar{\alpha} \end{bmatrix},$$

$$\Delta = 1 + \varepsilon(\bar{y}\cos\bar{\alpha} - \bar{x}\sin\bar{\alpha}); \quad \begin{bmatrix} F_x^{(0)} \\ F_y^{(0)} \end{bmatrix} = -D_t^{-1}C_0. \tag{2.1}$$

do đó:

$$\begin{bmatrix} \bar{r}_x^{(0)}(t) \\ \bar{r}_y^{(0)}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - \varepsilon\bar{x} \\ -\varepsilon \end{bmatrix}\eta e^{-t}\sin\bar{\alpha} + \begin{bmatrix} \varepsilon\bar{x}\cos\bar{\alpha} \\ 1 + \varepsilon\bar{y}\cos\bar{\alpha} \end{bmatrix}\left[1 + \xi(e^{-\gamma_2 t} - e^{-\gamma_1 t})\right]. \tag{2.2}$$

dễ thấy $\bar{r}_x^{(0)}$ đạt giá trị lớn nhất bằng:

$$\bar{r}_x^{(0)} = \eta + \varepsilon x_0\cos(\alpha_0 + \varphi_0) \quad \text{tại} \quad t = 0$$

còn $\bar{r}_y^{(0)}$ đạt giá trị nhỏ nhất bằng

$$\bar{r}_y^{(0)} = 1 + \varepsilon x_0\cos(\alpha_0 + \varphi_0) \quad \text{tại } t = 0; \quad \operatorname{arctg}\eta = \varphi_0.$$

nghiệm gần đúng bậc "0" đối với μ trong lớp biên [4] là

$$\begin{bmatrix} \Pi r_x^{(0)} \\ \Pi r_y^{(0)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} e^{-\tau} + \begin{bmatrix} \eta \\ 1 \end{bmatrix}, \tag{2.3}$$

$$\begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = -D_1^{-1}(0)\left[\begin{bmatrix} u_x(0) \\ u_y(0) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \eta \\ 1 \end{bmatrix}\right] - \begin{bmatrix} \eta \\ 1 \end{bmatrix}.$$

Hiển nhiên $\Pi r_x^{(0)}$ lớn nhất khi $\tau = 0$, $\Pi r_y^{(0)}$ bé nhất khi $\tau = 0$
Từ sự đánh giá này có:

$$f(t) = \left|\frac{\bar{r}_x + \Pi r_x}{\bar{r}_y + \Pi r_y}\right| \leq f(0) = \left|\frac{\bar{r}_x^{(0)} + \Pi r_x^{(0)}}{\bar{r}_y^{(0)} + \Pi r_y^{(0)}}\right|_{\substack{t=0\\ \tau=0}}.$$

Từ (2.1) và (2.3) được :

$$\begin{bmatrix} \bar{r}_x^{(0)} + \Pi r_x^{(0)} \\ \bar{r}_y^{(0)} + \Pi r_y^{(0)} \end{bmatrix}_{\substack{\tau=0\\ t=0}} = D_1^{-1}\begin{bmatrix}\eta\\1\end{bmatrix} - D_1^{-1}(0)\left[\begin{bmatrix}u_x(0)\\u_y(0)\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}\eta\\1\end{bmatrix}\right] - \begin{bmatrix}\eta\\1\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}\eta\\1\end{bmatrix} =$$

$$= \frac{1}{\Delta}\begin{bmatrix} s_1 - s_1\varepsilon x_0 \sin\alpha_0 + s_2\varepsilon x_0\cos\alpha_0 \\ -\varepsilon s_1 y_0 \sin\alpha_0 + s_2 + s_2\varepsilon y_0\cos\alpha_0 \end{bmatrix}.$$

do đó

$$f(0) = \frac{s_1}{s_2}\left[\frac{1 + \varepsilon\big(x_0\cos\alpha_0 - x_0\frac{s_1}{s_2}\sin\alpha_0\big)}{1 + \varepsilon y_0\big(\cos\alpha_0 + \frac{s_1}{s_2}\sin\alpha_0\big)}\right].$$

coi ε nhỏ

$$f(0) = \frac{s_1}{s_2}\big[1 + \varepsilon(x_0 - y_0)(\cos\alpha_0 - \sin\alpha_0)\big]. \tag{2.4}$$

Nhận xét: Kết quả (2.4) cho thấy thuật toán điều khiển của [2] làm cho chuyển động ít bị ảnh hưởng bởi điều kiện đầu. Nếu chọn $\alpha_0 \sim -\pi/2$ còn $x_0 \leq 0$ chuyển động diễn ra tốt đẹp nhất: nếu chọn $x_0 = y_0$ thì góc lệch ban đầu của thân so với phương đứng thẳng không ảnh hưởng đến hệ số trượt chân.

Có thể chọn x_0, y_0 sao cho s_1/s_2 nhỏ đến giá trị cần thiết để chuyển động diễn ra có lợi nhất.

Công trình này được hoàn thành với sự tài trợ của Chương trình Nghiên cứu cơ bản trong lĩnh vực Khoa học tự nhiên

Địa chỉ:
Đại học Xây dựng
Đại học Sư phạm I Hà Nội

Nhận ngày 30/7/1992

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Thành Mậu. Xác định phản lực ở chân robot trong pha đầu chuyển động của nó. Tạp chí Cơ học số 2, 1991.
2. Nguyễn Thành Mậu. Về một thuật toán điều khiển robot tự hành. Tạp chí Cơ học số 3, 1991.
3. Нгуен Тхань Мау. Об условиях непроскальзывания в начале движения двуногого шагающего аппарата. Вест. МГУ сер. I Мат.-Мех. № 2 1989.
4. Новожилов И. В. Методы разделения движений М. Э. Й. 1981.

SUMMARY

ABOUT THE REACTION AT THE ROBOT LEG

In this paper the authors studies the robot reaction using the new controllable method of walking robot. The result gives us the most optimal motion for robot.