

MỘT PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN VỊ TRÍ VÀ LỰC TƯƠNG TÁC VỚI MÔI TRƯỜNG TRONG HỆ TELEOPERATION

Đặng Ngọc Trung^{*}, Nguyễn Văn Trọng
 Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp - ĐH Thái Nguyên

TÓM TẮT

Trong lĩnh vực điều khiển từ xa việc thực thi chính xác các tác vụ là điều cần thiết. Với mục đích đó, bài báo này tập trung xem xét về điều khiển vị trí của hệ Teleoperation gồm hệ thống Master (chủ động) và hệ thống Slave (bị động) – Hệ SMSS. Ở đây có sử dụng luật điều khiển PD kinh điển kết hợp với điều khiển lực thụ động, đảm bảo được vị trí và lực tương tác giữa robot Slave với môi trường đồng nhất với robot Master khi có trễ trên kênh truyền thông. Kết quả bài báo thông qua sự mô phỏng hệ thống trên Matlab cho thấy tính ưu việt của phương pháp điều khiển được đề xuất.

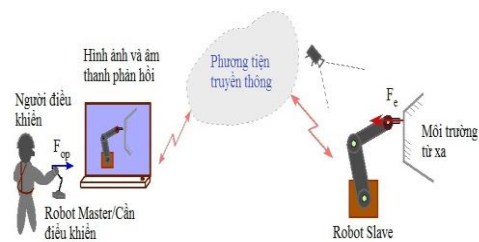
Từ khóa: Điều khiển hệ thống Teleoperation

ĐẶT VẤN ĐỀ

Teleoperation là một hệ thống thiết bị có sự tương tác ở khoảng cách khác nhau tương tự như một hệ thống “điều khiển từ xa” thường gặp trong học thuật và môi trường kỹ thuật. Trong các thiết bị thuộc hệ thống này, Robot điều khiển từ xa (cố định hoặc di động) được sử dụng trong nhiều lĩnh vực khoa học kỹ thuật và cuộc sống hàng ngày. Teleoperation bao gồm một hệ thống chủ động, gọi là “Master” và một hệ thống phụ thuộc gọi là “Slave”. Người điều khiển sử dụng một hệ thống Teleoperation để gửi các tín hiệu thông tin và yêu cầu đến hệ “Slave” thông qua hệ “Master”. Căn cứ vào kênh truyền thông tin, hệ thống Teleoperation được gọi là hệ thống kín hoặc hệ thống hở. Trong hệ hở, không có phản hồi nào từ hệ “Slave” về hệ “Master”, và hệ “Slave” được thúc đẩy làm việc nhờ những tín hiệu được gửi từ “Master”[1]. Trong hệ kín, ngoài tín hiệu được gửi từ “Master” đến “Slave” thì còn có tín hiệu phản hồi ngược từ hệ “Slave” gửi về hệ “Master”, những tín hiệu phản hồi có thể là về vị trí, vận tốc, gia tốc của robot, lực tương tác với môi trường làm việc và thậm chí là hình ảnh, âm thanh, nhiệt độ... tại khu vực làm việc ở cả hai phía trong hệ [2], [3].

Trong vài thập niên gần đây, hệ thống Teleoperation đã được phát triển với nhiều ứng dụng khác nhau như là được sử dụng ở ngoài vũ trụ, dưới đáy biển, trong các thiết bị hạt nhân, trong hoạt động phẫu thuật, trong điều khiển lái xe từ xa, trong cứu hộ... Các ứng dụng của hệ thống Teleoperation và các nghiên cứu về hệ thống này vẫn đang được các nhà khoa học theo đuổi.

Bài báo này đề xuất một phương pháp điều khiển song phương mới cho hệ Teleoperation SMSS với một robot Master và một robot Slave. Trong thuật giải này, chúng tôi đề xuất kết hợp điều khiển PD kinh điển với điều khiển lực thụ động. Việc sử dụng phương pháp Lyapunov đã chỉ ra sự ổn định toàn cục của hệ thống điều khiển đã đề xuất. Kết quả nhận được của phương pháp đã cải tiến được tính đồng nhất về vị trí và lực tương tác ở cả hai phía của hệ thống Teleoperation. Kết quả mô phỏng đã cho thấy tính hiệu quả của phương pháp đề xuất này.



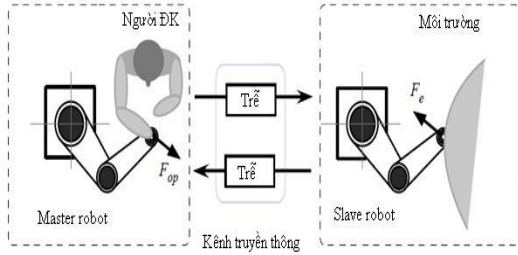
Hình 1. Hệ thống Teleoperation

^{*} Email: trungcsktd@gmail.com

ĐỘNG LỰC HỌC CHO HỆ SMSS

Giới thiệu

Xét một cặp của hệ thống robot của hệ thống SMSS được liên kết thông qua đường liên lạc với thời gian trễ biến thiên. Cấu hình của hệ thống này được thể hiện trong hình dưới.



Hình 2. Hệ thống điều khiển từ xa một robot Master một robot Slave (SMSS)

Giả sử bỏ qua tác dụng của ma sát, các nhiễu khác và trọng lực, phương trình động lực học của robot Master và robot Slave với n bậc tự do được mô tả như sau [4],[6]:

$$\begin{cases} M_m(q_m)\ddot{q}_m + C_m(q_m, \dot{q}_m)\dot{q}_m = \tau_m + J_m^T F_{op} \\ M_s(q_s)\ddot{q}_s + C_s(q_s, \dot{q}_s)\dot{q}_s = \tau_s - J_s^T F_e \end{cases} \quad (2.1)$$

Trong đó: m, s biểu thị chỉ số robot Master và Slave tương ứng.

Xét hệ số cho biết tọa độ tay máy q_i , với $i = m, s$, hệ tọa độ đề các có quan hệ với hệ tọa độ này theo:

$$z_i = h_i(q_i(t))$$

Trong đó: h_i là hàm chuyển tọa độ từ không gian khớp tới không gian làm việc.

z_i là vị trí làm việc cuối của robot trong không gian làm việc.

Đạo hàm biểu thức trên thu được ma trận Jacobi như sau: $\dot{z}_i = J_i(q_i)\dot{q}_i$

Động lực học của hệ Teleoperation trong miền không gian làm việc

Ta giả sử 2 robot Master và Slave trong hệ thống SMSS có kết cấu giống nhau.

Áp dụng định nghĩa hàm Lagrange ta có:

$$L = K - \Pi$$

Từ đó đưa ra được phương trình động lực học của robot Master được viết lại dưới dạng sử dụng hàm Lagrange như sau:

$$M_m(q)\ddot{q} + C_m(q, \dot{q})\dot{q} = \tau + J_m^T F$$

Tương tự tính toán cho Robot Slave

$$M_s(q)\ddot{q} + C_s(q, \dot{q})\dot{q} = \tau + J_s^T F$$

Giả thiết 2.3.1 J_m và J_s là khả đảo và không kỳ dị ở tất các thời điểm hoạt động.

Ta có z là vị trí khâu cuối, đạo hàm z theo thời gian ta có mối quan hệ giữa vận tốc trong không gian làm việc với vận tốc góc :

$$\dot{z}(t) = J(q_k)\dot{q}(t) \quad k = m, s \quad (2.2)$$

Đạo hàm tiếp theo thời gian ta có :

$$\ddot{z}(t) = J(q_k)\ddot{q}(t) + \dot{J}(q_k)\dot{q}(t) \quad k = m, s \quad (2.3)$$

Với \ddot{z} là vecto gia tốc khâu cuối. Thay (2.2), (2.3) vào (2.1) chúng ta có thể nhận được hệ động lực học trong không gian làm việc như sau:

$$\begin{cases} \tilde{M}_m(q_m)\ddot{z}_m + \tilde{C}_m(q_m, \dot{z}_m)\dot{z}_m = \tau'_m + F_{op} \\ \tilde{M}_s(q_s)\ddot{z}_s + \tilde{C}_s(q_s, \dot{z}_s)\dot{z}_s = \tau'_s - F_e \end{cases} \quad (2.4)$$

Trong đó : $\tilde{M}_k = J_k^{-T} M_k J_k^{-1}$

$$\tilde{C}_m = J_k^{-T} (C_k - M_k J_k^{-1} \dot{J}_k) J_k^{-1}$$

$$\tau'_k = J_k^{-T} \tau_k \quad (k = m, s)$$

Giả thiết 2.3.2 Lực tác động của người F_{op} và lực môi trường F_e là bị giới hạn

Giả thiết 2.3.3 Người tác động và môi trường có thể được mô hình như những hệ thống thụ động tương ứng.

Với giả thiết này người tác động được mô tả như sau:

$$\int_0^t -F_{op}^T(\xi)\dot{z}_m(\xi)d\xi \geq 0$$

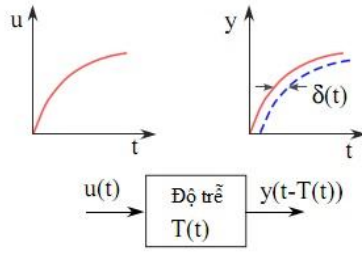
và môi trường từ xa được mô tả như sau:

$$\int_0^t F_e^T(\xi)\dot{z}_s(\xi)d\xi \geq 0$$

Trong đó \dot{z}_m, \dot{z}_s là các vận tốc của Robot Master và Robot Slave.

Độ trễ trên kênh truyền thông

Đặt $T_i : R \rightarrow R^+, i = m, s$ là thời gian phụ thuộc thời gian trễ trên kênh truyền thông đi ($i=m$) và về ($i=s$) tương ứng. Mô hình độ trễ được đưa ra trong hình dưới, $u(t)$ là đầu vào, $y(t - T(t))$ là đầu ra trễ, $\delta(t)$ là sai số điều chỉnh của hệ thống.



Hình 3. Mô hình thời gian trễ

Nếu vị trí và vận tốc của Master và Slave truyền tới nhau với độ trễ $T_{m/s}(\cdot)$, các tín hiệu trễ được biểu diễn như sau:
 $\hat{z}_m(t) = z_m(t - T_m(t)); \dot{\hat{z}}_m(t) = \dot{z}_m(t - T_m(t))\dot{T}_m(t)$
 $\hat{z}_s(t) = z_s(t - T_s(t)); \dot{\hat{z}}_s(t) = \dot{z}_s(t - T_s(t))\dot{T}_s(t)$
 Trong đó: $T_m(t)$ và $T_s(t)$ được giả thiết là thời gian trễ biến thiên.

THIẾT KẾ ĐIỀU KHIỂN CHO HỆ SMSS

Mục tiêu điều khiển

Ta sẽ thiết kế τ_m và τ_s để đạt được sự đồng bộ trong không gian làm việc cho hệ teleoperation với cấu hình robot Master, Slave khác nhau và có độ trễ trên kênh truyền thông.

Ta xác định sai lệch vị trí của khâu chấp hành cuối như sau:

$$\begin{cases} e_m(t) = z_s(t - T_s) - z_m(t) \\ e_s(t) = z_m(t - T_m) - z_s(t) \end{cases} \quad (3.1)$$

Trong đó: T_m và T_s là thời gian trễ
 z_m, z_s là vị trí của khâu chấp hành cuối.

Thiết kế điều khiển

Từ 2.4 ta có thể đề xuất luật điều khiển kết hợp phương pháp PD & điều khiển lực thụ động như sau :

$$\begin{cases} \tau'_m(t) = K_D \dot{\hat{z}}_s(t) - \dot{z}_m(t) + K_P \hat{z}_s(t) - z_m(t) - (1-C)F_{op}(t) - C\tilde{F}_e(t) \\ \tau'_s(t) = K_D \dot{\hat{z}}_m(t) - \dot{z}_s(t) + K_P \hat{z}_m(t) - z_s(t) + (1-C)F_{env} + C\tilde{F}_{op}(t) \end{cases} \quad (3.2)$$

K_D và $K_P \in R^{m \times n}$ là các ma trận hệ số điều khiển vị trí.

$C \in R^{m \times n}$ là ma trận hệ số điều khiển lực.

Phân tích tính ổn định

Chứng minh: Tính ổn định của hệ thống bằng phương pháp ISS - Lyapunov:

Căn cứ trên phương trình động lực học của hệ thống ta chọn một hàm xác định dương như sau :

$$V_m = \dot{z}_m^T \tilde{M}_m \dot{z}_m + \dot{z}_m^T K_P z_m - 2C \int_0^t F_{op}^T(\xi) \dot{z}_m(\xi) d\xi$$

với \tilde{M}_m, K_P, C là các ma trận xác định dương. Theo giả thiết môi trường và tay máy là thụ động, do đó V_m là hàm xác định dương

Lấy đạo hàm của V_m với các điều kiện cho phép sau đó biến đổi ta được:

$$\begin{aligned} \dot{V}_m &= 2\dot{z}_m^T \tilde{M}_m \ddot{z}_m + \dot{z}_m^T \dot{\tilde{M}}_m \dot{z}_m + 2\dot{z}_m^T K_P \dot{z}_m - 2CF_{op}^T \dot{z}_m \\ \dot{V}_m &= 2\dot{z}_m^T [-\tilde{C}_m \dot{z}_m + F_{op} + \tau'_m] + \dot{z}_m^T \dot{\tilde{M}}_m \dot{z}_m + 2\dot{z}_m^T K_P \dot{z}_m - 2CF_{op}^T \dot{z}_m \\ \dot{V}_m &= 2\dot{z}_m^T K_D \beta \dot{\hat{z}}_s(t) - \dot{z}_m(t) + 2\dot{z}_m^T K_P \beta \hat{z}_s(t) - z_m(t) \\ &\quad + 2\dot{z}_m^T C F_{op}(t) - \alpha \tilde{F}_e(t) - 2\dot{z}_m^T \tilde{C}_m \dot{z}_m \\ &\quad + \dot{z}_m^T \dot{\tilde{M}}_m \dot{z}_m + 2\dot{z}_m^T K_P \dot{z}_m - 2CF_{op}^T \dot{z}_m \\ \dot{V}_m &= 2\dot{z}_m^T K_D \beta \dot{\hat{z}}_s(t) - 2\dot{z}_m^T K_D \dot{z}_m(t) + 2\dot{z}_m^T K_P \beta \hat{z}_s(t) \\ &\quad - 2\dot{z}_m^T C \alpha \tilde{F}_e(t) + 2\dot{z}_m^T \theta_m \dot{z}_m - 2\dot{z}_m^T \theta_m \dot{z}_m \\ \dot{V}_m &= -2\dot{z}_m^T (K_D - \theta_m) \dot{z}_m(t) - 2\dot{z}_m^T \left\{ \beta \dot{\hat{z}}_s(t) + K_P \beta \hat{z}_s(t) \right. \\ &\quad \left. - C \alpha \tilde{F}_e(t) - \theta_m \dot{z}_m \right\} \leq 0 \end{aligned}$$

Do vậy quỹ đạo chuyển động robot Master là ổn định cục bộ. Tương tự chứng minh với robot Slave ta cũng dẫn đến đc sự ổn định về quỹ đạo chuyển động.

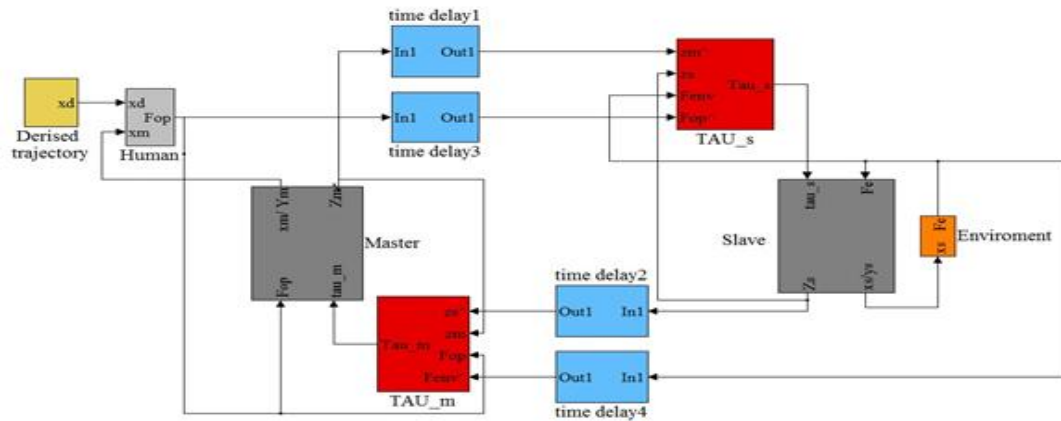
KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Kết quả mô phỏng với thời gian trễ trên kênh truyền thông. Giả thiết hai robot Master và Slave sử dụng trong quá trình mô phỏng có cấu hình giống nhau. Các kết quả mô phỏng nhận được bằng việc sử dụng phần mềm Matlab Simulink.

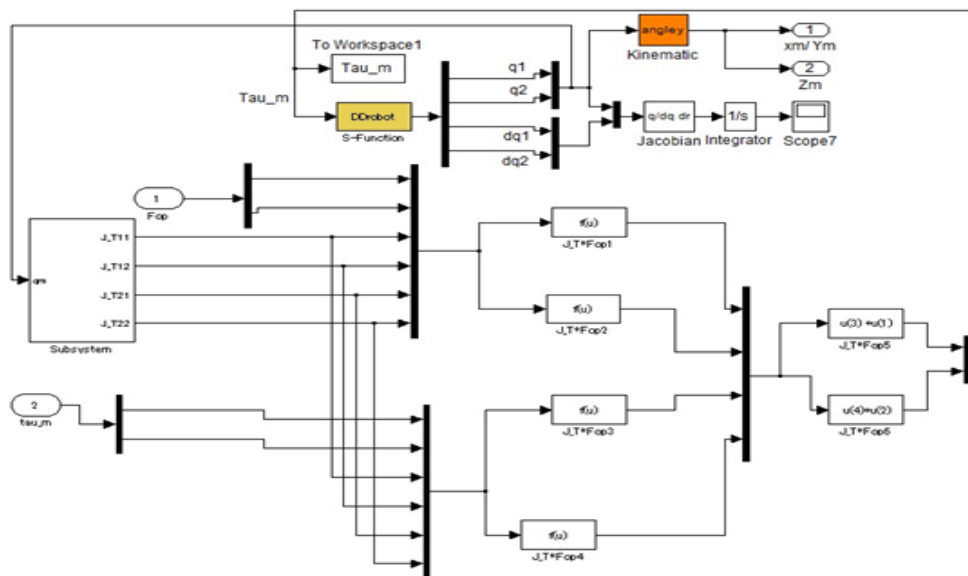
+ Trường hợp 1 : Khi robot Slave không va chạm với môi trường

+ Trường hợp 2 : Khi robot Slave va chạm với môi trường

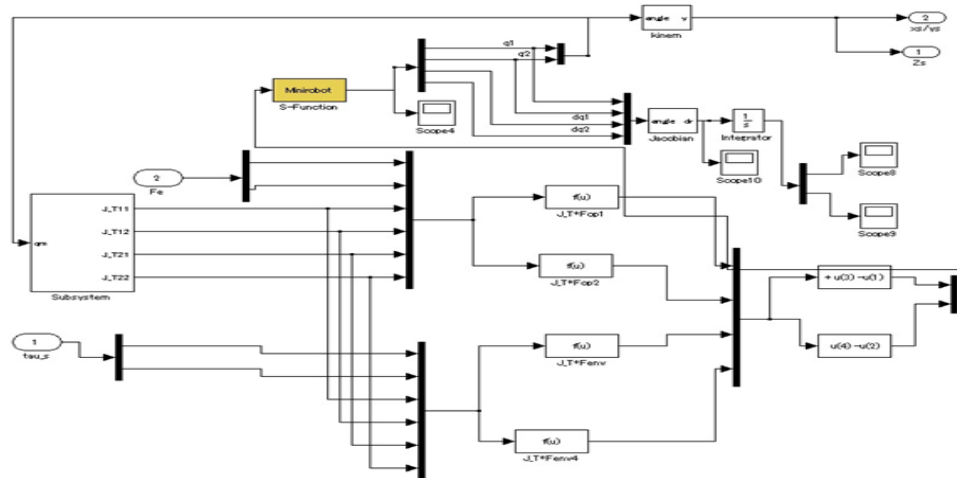
Nhận xét: Trong nghiên cứu này, các tác giả đã đưa ra một phương pháp điều khiển mới và đã đạt được các mục tiêu điều khiển đưa ra ở phần trên.. Tuy nhiên trong các hướng nghiên cứu tiếp theo chúng ta cần quan tâm với thời gian trễ lớn và áp dụng mở rộng cho các robot có kích thước không đồng nhất.



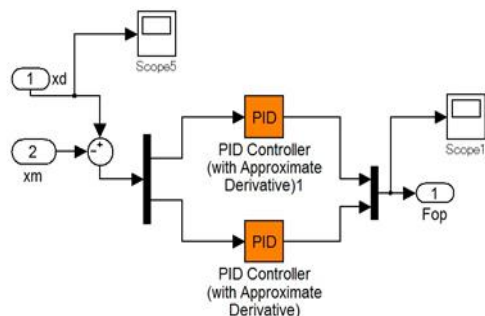
Hình 4. Sơ đồ khối điều khiển hệ thống SMSS



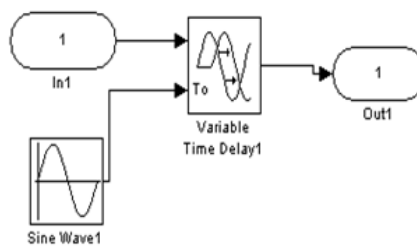
Hình 5. Khối Master



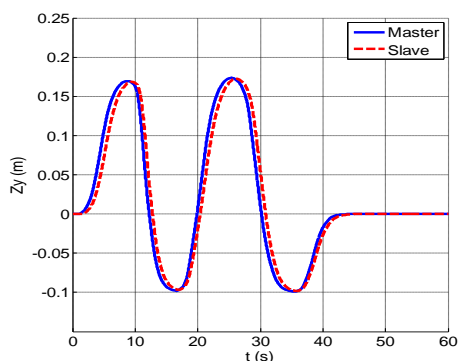
Hình 6. Khối Slave



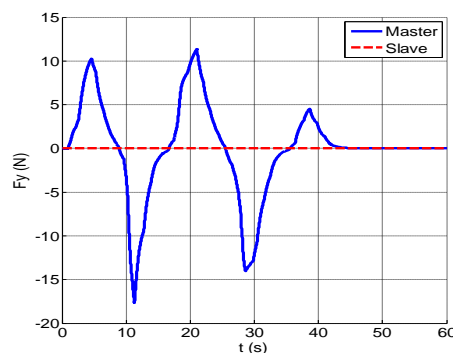
Hình 7. Khối Human



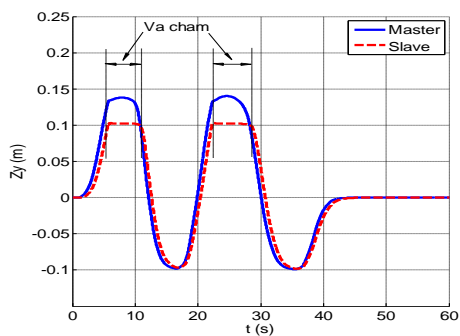
Hình 8. Khối Delay



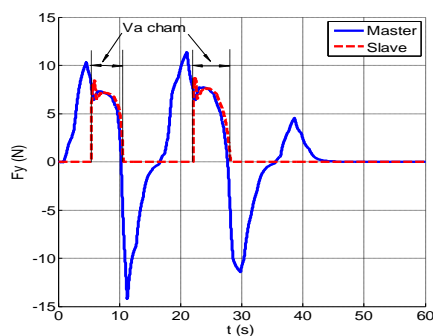
Hình 9. Vị trí của robot Master và slave khi có trễ



Hình 10. Lực tác động của người và lực tương tác của môi trường



Hình 11. Vị trí của robot Master và slave khi có trễ



Hình 12. Lực tác động của người và lực tương tác của môi trường

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. L. Basanez, J. Rosell, L. Palomo, Emmanuel Nuno and H. Portilla: *A Framework for Robotized Teleoperated Tasks*.
2. R.J Anderson and M.W Spong: *Bilateral control of Teleoperators with Time Delay*. IEEE Trans on Automatic Control, Vol.43, Issue 5, p.494-501,1989.

3. Nam D. D. and T. Namerikawa: *Impedance Control for Force – Reflecting Teleoperation with Varying Damping under Communication Delays*. Proc. of the 1st IFToMM International Symposium on Robotics and Mechatronics (ISRMM), Hanoi, Vietnam, September 21st-23rd, 2009.
4. Nguyễn Văn Khang (2007), *Động lực học hệ nhiều vật (Dynamics of Multibody Systems)*, Nxb Khoa học Kỹ thuật.

SUMMARY

A CONTROL METHOD FOR LOCATION AND HUMAN INTERACTION WITH THE ENVIRONMENT IN THE TELEOPERATION**Dang Ngoc Trung^{*}, Nguyen Van Trong***College of Technology - TNU*

In the field of remote control, the task of the correct execution is essential. For that purpose, this paper focuses on the position control of the Teleoperation system including Master (active) and Slave system (passive) - SMSS system. This system applied the combination between classical PD control law and Scattering parameters to ensure the position and interactive force between the Slave robot and homogeneous medium with the Master robot regarding to the delay of communication. The illustrative results in Matlab shows the preeminent of control method suggested.

Keywords: *Teleoperation control systems, robot control, SMSS robot systems, bilateral robot control, passive control*

Ngày nhận bài: 18/4/2014; Ngày phản biện: 14/5/2014; Ngày duyệt đăng: 09/6/2014

Phản biện khoa học: *PGS.TS Lại Khắc Lãi – Đại học Thái Nguyên*

^{*} *Email: trungcsktd@gmail.com*