

Integración de un Sistema Robótico de Rehabilitación para Extremidades Superiores

Dra. Isela Bonilla Gutiérrez, Dr. Marco O. Mendoza Gutiérrez

MOTIVACIÓN.

En los últimos años se han diseñado diversos sistemas robóticos para rehabilitación, cuya eficiencia ha sido probada mediante estudios clínicos [1]-[7]. La gran mayoría de los avances logrados tienen que ver con la recuperación de la movilidad en extremidades superiores, para hombro y codo; y extremidades inferiores, para rodilla y tobillo.

Debido a los buenos resultados obtenidos en la rehabilitación asistida por robots, diversos grupos de investigación han presentado nuevos y mejorados diseños de sistemas robóticos para este fin, buscando con ello mejorar aspectos como un bajo costo, facilidad de uso, seguridad, capacidad, portabilidad, etc. [8]-[11]. Otra característica muy importante es que el sistema robótico logre estimular a los pacientes, con la finalidad de que la terapia no sea vista como un ejercicio fastidioso, aburrido o rutinario; para ello se ha buscado mejorar las interfaces para hacerlas atractivas, incluyendo juegos o dinámicas que permitan una evolución más placentera para el paciente [12]. Una terapia asistida por robots consiste en mover el efector final del robot de acuerdo con una serie de metas definidas en una interfaz gráfica de usuario (típicamente a través de juegos de video). Si durante el desarrollo de la terapia el paciente no pudiera desempeñar la tarea en respuesta a los estímulos visuales, el robot debe ser capaz de asistir y guiar al paciente para completar el ejercicio requerido por la terapia. El campo de la realidad virtual es un área que ha sido utilizada como complemento a las terapias de rehabilitación convencionales de pacientes que han sufrido una EVC [13]-[17].

El control de los sistemas robóticos, que asisten durante una sesión de terapia, es de gran importancia para cumplir con su objetivo principal. Debido a esto, diversas estrategias de control han sido desarrolladas para manejar dispositivos robóticos para terapia. El control de impedancia ha servido como una base muy importante para el desarrollo de estrategias de control de interacción humano-robot. En [18], Hogan presenta el desarrollo del control de impedancia como un enfoque general y unificado para el control de la manipulación. El enfoque propuesto abarca e incluye el simple posicionamiento o las tareas de transporte desempeñadas por robots y/o prótesis, extendiendo su capacidad a su aplicación en tareas que involucran interacciones estáticas o dinámicas entre el manipulador y su entorno. Considerando el potencial que brinda el control de impedancia en tareas de manipulación que involucran la interacción del robot con su entorno, la rehabilitación neurológica surge como una de sus principales áreas de aplicación. Para garantizar el adecuado funcionamiento del sistema de control, se han realizado análisis de estabilidad y desempeño tanto de los algoritmos de control como de los sistemas robóticos [19].

El trabajo de investigación de la presente propuesta tiene como problemática principal, el desarrollo sistema de control para rehabilitación de extremidades superiores que permitan garantizar una adecuada interacción con el paciente, así como el diseño de una interfaz visual que complemente el sistema.

OBJETIVO

Desarrollar una interfaz de control adaptable para un sistema robótico de rehabilitación de extremidades superiores, con la finalidad de poder implementar en el sistema terapias de rehabilitación personalizadas y estimular de manera visual y táctil al usuario.

METODOLOGÍA

El tipo de algoritmos que se proponen desarrollar en este trabajo de investigación permitirán controlar la respuesta que existe durante la interacción humano-robot, garantizando la seguridad del usuario al tomar en cuenta las restricciones físicas del paciente, al mismo tiempo que el sistema estimulará al paciente a lograr un mejor desempeño.

En trabajos previos [20]-[22] se ha propuesto una metodología de diseño de controladores de impedancia con base en el método directo de Lyapunov, donde dicho enfoque de control corresponde a una generalización del control de movimiento en el espacio operacional o de tarea. La idea principal de esta tesis se enfoca en incluir información característica del usuario que permita alcanzar un alto nivel de adaptabilidad del sistema robótico.

La validación del sistema se realizará en dos etapas: la primera mediante la utilización del software de simulación por computadora, y la segunda mediante la realización de diversas pruebas experimentales que llevarán a cabo en una plataforma experimental desarrollada en la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP). Esta plataforma consiste en un robot manipulador de 2 grados de libertad diseñado para interactuar con el brazo del usuario (ver figura 1), y éste se encuentra instalado en el Laboratorio de Instrumentación y Control, el cual cuenta con las condiciones necesarias y adecuadas para este proyecto.



Figura 1: Sistema robótico de dos grados de libertad desarrollado en la Facultad de Ciencias, UASLP.

REQUISITOS

Para el desarrollo de este proyecto es necesario que el alumno tenga la habilidad y experiencia en programación en lenguaje C, control de sistemas lineales y/o no lineales y manejo del software Matlab/Simulink. Se propone que el alumno involucrado curse las materias de: “Automatización de Procesos” y “Tópicos Selectos de Ingeniería Electrónica”

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Mes	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Actividad												
Investigación bibliográfica.												
Curso I.												
Curso II.												
Estudio de las estructuras de control de interacción propuestos en la literatura.												
Estudio de metodologías de estimulación visual mediante juegos de video.												
Integración del esquema de control en el sistema robótico.												
Desarrollo e integración de la interfaz visual en el sistema robótico.												
Pruebas experimentales.												
Escritura de un artículo para un congreso nacional o internacional												
Escritura de la tesis.												

REFERENCIAS

- [1] H.I. Krebs, N. Hogan, M.L. Aisen & B.T. Volpe, “Robot Aided Neurorehabilitation”. IEEE Trans. on Rehabilitation Engineering, Vol. 6, No. 1, pp. 75-87, 1998.
- [2] M.L. Aisen, H.I. Krebs, F. McDowell, N. Hogan & B.T. Volpe, “The Effect of Robot Assisted Therapy & Rehabilitative Training on Motor Recovery Following a Stroke”. Archives of Neurology, Vol. 54, pp. 443-446, 1997.
- [3] M. Ferraro, J.J. Palazzollo, J. Krol, H.I. Krebs, N. Hogan & B.T. Volpe, “Robot Aided Sensorimotor Arm Training Improves Outcome in Patients with Chronic Stroke”. Neurology, Vol. 61, pp. 1604-1607, 2003.
- [4] J. Stein, H.I. Krebs, W.R. Frontera, S.E. Fasoli, R. Hughes & N. Hogan, “Comparison of Two Techniques of Robot-Aided Upper Limb Exercise Training After Stroke”. American Journal Physical Medicine Rehabilitation, Vol. 83, No. 9, pp. 720-728, 2004.
- [5] P. Lum, C. Burgar & P. Shor, “Evidence for Improved Muscle Activation Patterns After Retraining of Reaching Movements with the MIME Robotic System in Subjects with Post-Stroke Hemiparesis”. IEEE Trans. on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, Vol. 12, No. 2, pp. 186-194, 2004.
- [6] R. Colombo, F. Pisano, S. Micera, A. Mazzzone, C. Delconte, M. Carrozza, P. Dario & G. Minuco, “Robotic Techniques for Upper Limb Evaluation and Rehabilitation of Stroke Patients”. IEEE Trans. on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, Vol. 13, No. 3, pp. 311-324, 2005.
- [7] M. Johnson, H. Van der Loos, C. Burgar, P. Shor & L. Leifer, “Experimental Results Using Force-Feedback Cueing in Robot-Assisted Stroke Therapy”. IEEE Trans. on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, Vol. 13, No. 3, pp. 335-348, 2005.
- [8] G. Rosati, P. Gallina & S. Masiero, “Design, Implementation and Clinical Tests of a Wire-Based Robot for Neurorehabilitation”. IEEE Trans. on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, Vol. 15, No. 4, pp. 560-569, 2007.
- [9] H. Krebs, B. Volpe, D. Williams, J. Celestino, S. Charles, D. Lynch & N. Hogan, “Robot-Aided Neurorehabilitation:

- A Robot for Wrist Rehabilitation". IEEE Trans. on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, Vol. 15, No. 3, pp. 327-335, 2007.
- [10] D. Aoyagi, W. Ichinose, S. Harkema, D. Reinkensmeyer & J. Bobrow, "A Robot and Control Algorithm That Can Synchronously Assist in Naturalistic Motion During Body-Weight-Supported Gait Training Following Neurologic Injury". IEEE Trans. on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, Vol. 15, No. 3, pp. 387-400, 2007.
- [11] T. Sugar, J. He, E. Koeman, J. Koeman, R. Herman, H. Huang, R. Schultz, D. Herring, J. Wanberg, S. Balasubramanian, P. Swenson & J. Ward, "Design and Control of RUPERT: A Device for Robotic Upper Extremity Repetitive Therapy". IEEE Trans. on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, Vol. 15, No. 3, pp. 336-346, 2007.
- [12] L. Dipietro, M. Ferraro, J. Palazzolo, H. Krebs, B. Volpe & N. Hogan, "Customized Interactive Robotic Treatment for Stroke: EMG-Triggered Therapy". IEEE Trans. on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, Vol. 13, No. 3, pp. 325-334, 2005.
- [13] S. You, S. Jang, Y. Kim, M. Hallet, S. Ahn, Y. Kwon, J. Kim & M. Lee, "Virtual Reality-induced Cortical Reorganization and Associated Locomotor Recovery in Chronic Stroke". Stroke, American Heart Association, Inc. Vol. 36, No. 1, pp. 1166-1176, 2005.
- [14] L. Zhang, B.C. Abreu, B. Masel, R.S. Scheibel, C.H. Christiansen & N. Huddleston, "Virtual Reality in the Assessment of Selected Cognitive Function after Brain Injury". American Journal Physical Medicine & Rehabilitation, Vol. 80, No. 8, pp. 597-604, 2001.
- [15] D. Jack, R. Boian, A. Merians, M. Tremaine, G. Burdea, S. Adamovich, M. Recce & H. Poizner, "Virtual Reality Enhanced Stroke Rehabilitation. IEEE Transactions on Neurological Systems and Rehabilitation Engineering, Vol. 9, No. 3, pp. 308-318, 2001.
- [16] F.D. Rose, B.M. Brooks & A.A. Rizzo, "Virtual Reality in Brain Damage Rehabilitation: Review. Cyberpsychology Behavior, Vol. 8, No. 1, pp. 241-262, 2005.
- [17] A. Merians, D. Jack, R. Boian, M. Tremaine, G. Burdea, S. Adamovich, M. Recce & H. Poizner, "Virtual Reality Augmented Rehabilitation for Patients Following Stroke. Physical Therapy, Vol. 82, No. 9, pp. 898-915, 2002.
- [18] N. Hogan, "Impedance Control: An Approach to Manipulation: Part I-Theory, Part II-Implementation and Part III-Applications". ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, Vol. 107, pp. 1-24, 1985.
- [19] S. Buerger & N. Hogan, "Complementary Stability and Loop Shaping for Improved Human-Robot Interaction". IEEE Trans. on Robotics, Vol. 23, No. 2, pp. 232-244, 2007.
- [20] M. Mendoza, I. Bonilla, F. Reyes & E. González-Galván, "A Lyapunov-based Design Tool of Impedance Controllers for Robot Manipulators". Kybernetika, Vol. 48, No. 6, pp. 1136-1155, 2012.
- [21] I. Bonilla, F. Reyes, M. Mendoza & E. González-Galván, "A Dynamic-Compensation Approach to Impedance Control of Robot Manipulators". Journal of Intelligent and Robotic Systems, Vol. 63, No. 1, pp. 51-73, 2011.
- [22] M. Mendoza, F. Reyes, I. Bonilla & E. González-Galván, "Proportional-Derivative Impedance Control of Robot Manipulators for Interaction Tasks". Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering, Vol. 225, No. 3, pp. 315-329, 2011.