

Teleoperación bilateral de dispositivos hápticos para tareas de interacción humano-robot

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

Motivación: En la población mundial, el número de personas mayores de 65 años está creciendo rápidamente y será de aproximadamente del 70% en 2050 en países industrializados, de acuerdo con estudios llevados a cabo por la Organización Mundial de la Salud (WHO, por sus siglas en inglés) [1]. Es importante hacer notar que este grupo de personas son altamente propensas a sufrir una Enfermedad Vasculor Cerebral (EVC). Las EVC's representan la principal causa de discapacidad y esto ha ocasionado una necesidad creciente de proveer terapia de rehabilitación a este tipo de pacientes, con la finalidad recobrar sus habilidades motrices.

En la actualidad, se han desarrollado una gran cantidad de dispositivos robóticos de rehabilitación para asistir a pacientes de EVC durante su tratamiento [2]-[9]. Un reto clave, para esta tecnología, es desarrollar sistemas robóticos que sean accesibles y puedan ser usados en diferentes entornos, tales como centros de rehabilitación y el hogar, debido a la demanda creciente de este tipo de servicio [10].

La gran mayoría de los centros de rehabilitación y terapeutas suelen estar localizados en áreas centrales. Por lo tanto, muchas de las personas con discapacidad que viven en comunidades aisladas y con escasa población, carecen de programas de rehabilitación apropiados [11]. Una posible reducción en la atención y duración de la terapia tendría un impacto negativo en la condición de los pacientes, así como en su proceso de recuperación; de hecho, la evaluación y el tratamiento deben ocurrir tan pronto como sea posible, o de lo contrario la terapia puede producir resultados limitados. Tales problemas suelen ocurrir en pacientes que viven en áreas rurales remotas o zonas urbanas desfavorecidas, donde generalmente no existen clínicas cercanas al hogar de los pacientes [12]. Bajo estas circunstancias, un sistema de tele-rehabilitación que permita al paciente participar en un programa de rehabilitación desde una localización remota, se convertiría en una herramienta tecnológica muy importante. Adicionalmente, el tratamiento en el hogar a través de tele-rehabilitación tiene el potencial de ahorrar tiempo y dinero, tanto para el paciente y el proveedor; además, el mismo terapeuta podría supervisar diversos pacientes simultáneamente [13]-[14].

Por lo tanto, la problemática central de esta propuesta de tesis es el estudio de diversos esquemas de teleoperación y desarrollo de una estructura de control que permita una interacción estable y segura entre un sistema robótico de rehabilitación y el usuario humano, para ser usado en tareas a distancia.

Objetivo: Estudiar y analizar diversos esquemas de teleoperación bilateral, y desarrollar una estructura de control que permita una interacción humano-robot estable en tareas realizadas desde una ubicación remota.

Metodología: Se explorará el uso de técnicas de control de basadas en funciones de energía, soportadas analíticamente por la teoría de estabilidad de Lyapunov y la teoría de pasividad [15]-[18]. Para la implementación experimental del sistema de teleoperación se cuenta con dos dispositivos hápticos, que pueden formar un sistema maestro-esclavo adecuado para este tipo de

tareas. Además, se cuenta con otras plataformas que pueden ser utilizadas de acuerdo con las necesidades del proyecto: tarjeta dSPACE 1104, sistema NI CRIO, tarjeta Arduino Mega 2560.

Se cuenta también con sensores de fuerza/par que permitirán caracterizar la interacción entre los dispositivos robóticos y los usuarios humanos.



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

Cronograma de Actividades (Junio/2022 – Agosto/2023)

Actividad \ Mes	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV
Investigación bibliográfica	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Curso I				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Curso II				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Estudio y análisis de técnicas de teleoperación	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Desarrollo de la estructura de control						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Integración del sistema de control								■	■	■	■	■	■	■	■
Pruebas experimentales									■	■	■	■	■	■	■
Escritura de artículo para congreso												■	■	■	■
Escritura de la tesis											■	■	■	■	■

Referencias

- [1] Guo, S., Zhang, S., Song, Z., & Pang, M. (2012, August). Design of a master-slave rehabilitation system using self-tuning fuzzy PI controller. In *2012 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation* (pp. 2088-2092).
- [2] Krebs, H. I., Hogan, N., Aisen, M. L., & Volpe, B. T. (1998). Robot-aided neurorehabilitation. *IEEE transactions on rehabilitation engineering*, *6*(1), 75-87.
- [3] Hesse, S., & Uhlenbrock, D. (2000). A mechanized gait trainer for restoration of gait. *Journal of rehabilitation research and development*, *37*(6), 701-708.
- [4] Lum, P., Reinkensmeyer, D., Mahoney, R., Rymer, W. Z., & Burgar, C. (2002). Robotic devices for movement therapy after stroke: current status and challenges to clinical acceptance. *Topics in stroke rehabilitation*, *8*(4), 40-53.
- [5] Nef, T., Mihelj, M., Kiefer, G., Perndl, C., Muller, R., & Riener, R. (2007, June). ARMin-Exoskeleton for arm therapy in stroke patients. In *2007 IEEE 10th international conference on rehabilitation robotics* (pp. 68-74).
- [6] Banala, S. K., Agrawal, S. K., & Scholz, J. P. (2007, June). Active Leg Exoskeleton (ALEX) for gait rehabilitation of motor-impaired patients. In *2007 IEEE 10th international conference on rehabilitation robotics* (pp. 401-407).
- [7] Yoon, J., Novandy, B., Yoon, C. H., & Park, K. J. (2010). A 6-DOF gait rehabilitation robot with upper and lower limb connections that allows walking velocity updates on various terrains. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, *15*(2), 201-215.
- [8] Veneman, J. F., Kruidhof, R., Hekman, E. E., Ekkelenkamp, R., Van Asseldonk, E. H., & Van Der Kooij, H. (2007). Design and evaluation of the LOPES exoskeleton robot for interactive gait rehabilitation. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, *15*(3), 379-386.
- [9] Beyl, P., Van Damme, M., Van Ham, R., Versluys, R., Vanderborght, B., & Lefeber, D. (2008, May). An exoskeleton for gait rehabilitation: prototype design and control principle. In *2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation* (pp. 2037-2042).
- [10] Carignan, C. R., & Krebs, H. I. (2006). Telerehabilitation robotics: bright lights, big future?. *Journal of rehabilitation research and development*, *43*(5), 695.
- [11] Mouri, T., Kawasaki, H., Aoki, T., Nishimoto, Y., Ito, S., & Ueki, S. (2009). Telerehabilitation for fingers and wrist using a hand rehabilitation support system and robot hand. *IFAC Proceedings Volumes*, *42*(16), 603-608.
- [12] Popescu, V. G., Burdea, G. C., Bouzit, M., & Hentz, V. R. (2000). A virtual-reality-based telerehabilitation system with force feedback. *IEEE transactions on Information Technology in Biomedicine*, *4*(1), 45-51.
- [13] Deutsch, J. E., Lewis, J. A., & Burdea, G. (2007). Technical and patient performance using a virtual reality-integrated telerehabilitation system: preliminary finding. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, *15*(1), 30-35.
- [14] Mendoza, M., Bonilla, I., González-Galván, E., & Reyes, F. (2016). Impedance control in a wave-based teleoperator for rehabilitation motor therapies assisted by robots. *Computer methods and programs in biomedicine*, *123*, 54-67.
- [15] I. Bonilla, M. Mendoza, D. U. Campos-Delgado & D. E. Hernández-Alfaro, "Adaptive Impedance Control of Robot Manipulators with Parametric Uncertainty for Constrained Path-Tracking". *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, vol. 28, no. 2, pp. 363-374, 2018.
- [16] Vidrios-Serrano, C., Mendoza, M., Bonilla, I., & Maldonado-Fregoso, B. (2021). A generalized vision-based stiffness controller for robot manipulators with bounded inputs. *International Journal of Control, Automation and Systems*, *19*(1), 548-561.
- [17] Maldonado-Fregoso, B., Mendoza-Gutierrez, M., Bonilla-Gutierrez, I., & Vidrios-Serrano, C. (2021). A generalized adaptive stiffness control scheme for robot manipulators with bounded inputs. *Asian Journal of Control*, *23*(6), 2550-2564.
- [18] Ramírez-Vera, V. I., Mendoza-Gutiérrez, M. O., & Bonilla-Gutiérrez, I. (2022). Impedance Control with Bounded Actions for Human-Robot Interaction. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 1-12.