

Control de Robots con la aplicación de Interfase Cerebro-Máquina

Jorge Ierache^{1,2}, Gustavo Pereira¹, Iris Sattolo¹, Alejandro Guerrero¹, Juan D'Altto¹, Juan Iribarren¹

Instituto de Sistemas Inteligentes y Enseñanza Experimental de la Robótica (ISIER)¹
Lab Sistemas Inteligentes Facultad de Ingeniería Universidad de Buenos Aires²

ISIER, Facultad de Informática Ciencias de la Comunicación y Técnicas Especiales
Universidad de Morón, Cabildo 134, (B1708JPD) Morón, Buenos Aires, Argentina
54 11 5627 200 int 189
jierache@unimoron.edu.ar

Resumen: En este artículo se describe el trabajo de investigación que en la actualidad se está desarrollando dentro del área de la comunicación de humanos a robots, sobre la base de bioseñales cerebrales. Para esta investigación se aplican tecnologías e interfaces disponibles que facilitan la lectura de las señales del cerebro del usuario y su asociación a comandos explícitos. Además permiten a través de la adecuación de dispositivos de comunicación, el control de robots bípedos y móviles. Nuestro trabajo explora una solución de ingeniería, aplicando las bases tecnológicas y, el desarrollo de un framework de comunicación de alto y bajo.

Key words: Robots, Brain Machine Interface, Bio-Electrical Signal, Human Machine Interfaces.

1. Contexto de la Investigación

En la actualidad se trabaja en el control de robots a través de la adaptación de Brain-

Machine Interfase (BMI). Nuestras líneas de trabajo se enfocan en la experimentación de soluciones de integración para el control de robots por bioseñales, y futuras pruebas de integración del control de bioseñales para el control remoto de robots.

Este proyecto se encuentra financiado por la Facultad de Informática, Ciencias de la Comunicación y Técnicas Especiales de la Universidad de Morón. A su vez propicia la formación de recursos, con la participación de estudiantes de grado y posgrado para la continuación de las líneas de investigación relacionadas.

La aplicación de bioseñales para el control de sistemas, robots, aplicaciones, juegos y otros dispositivos, presenta un enfoque novedoso al abrir las puertas para la interacción entre humanos y computadoras en una nueva dimensión, donde se explotan específicamente biopotenciales eléctricos registrados en el usuario, a través de: el electro-miograma, el electro-encefalograma y el electro-oculograma, que son bioseñales eléctricas generadas por los patrones de actividad de los músculos, el cerebro y los ojos del usuario.

La idea de mover robots o facilitar la aplicación de dispositivos para discapacitados sin aplicar controles manuales y alcanzar el control sólo a través de la actividad mental, fascinó a los investigadores. En este orden, se presentaron diversos trabajos: los primeros, recurrieron a implantar electrodos intracraneales en la corteza motora de

primates [1], [2]. Los trabajos no invasivos para humanos recurrieron a señales de Electroencefalogramas (EEG), aplicados a ejercicios de comandos mentales, como mover el cursor de una computadora [3], [4] basados en el empleo de Brain-Machine Interface (BMI). Millan et. al. [5] demuestra como dos personas pueden mover un robot usando un simple electroencefalograma, sobre la base de reconocer tres estados mentales, los que se asocian a comandos del robot. Los trabajos de Saulnier et. al. [6] se enfocaron en controlar la velocidad de un robot y extender su aplicación para inferir el nivel de stress del usuario, y a partir de éste influir en el comportamiento social de robots domésticos, en este caso una aspiradora robot.

El trabajo seminal de Millan et. al. [5], emplea como única bioseñal el electroencefalograma, sobre la base del trabajo de dos personas para apoyar la navegación de un robot, a diferencia de éste, nuestro trabajo presenta el resultado preliminar empleando un BMI de bajo costo, utilizado en trabajos secundarios como el de Saulnier et. al. [6], que incluye las bioseñales correspondientes al electro-encefalograma, electro-oculograma y electromiograma.

A diferencia del trabajo de Saulnier et. al. [6], que implementa un control de velocidad sobre la base del electromiograma e infiere el estado de stress del usuario a través del electroencefalograma, nuestro trabajo se enfoca en la ejecución de un patrón de navegación por parte de un robot. Confronta los tiempos de ejecución del control manual y del control mental durante el inicio de la curva de aprendizaje de un usuario, con resultados que demuestran que el control mental requiere, en términos generales, el doble de tiempo que el control manual para la ejecución de un mismo patrón de navegación.

Podemos afirmar que nuestro trabajo presenta según el contexto descrito, una mejora en los tiempos de control mental, superando ligeramente al manual, en las pruebas de ejecución del mismo patrón de navegación, la

que denominamos *control mental con auto foco*.

Se empleó el Bípido Robosapiens V1. [7] de la familia Wow Wee Robotics [8], para los ensayos preliminares y como robot principal se armó un simple robot móvil sobre la base de un Lego NXT [9].

2. Objetivos Teóricos y Experimentales

Nuestro objetivo inicial fue explorar una solución de ingeniería que nos permitiera alcanzar una integración primaria de un BMI y un robot, para ser utilizada por un usuario que no requiera tener experiencia previa con técnicas de meditación o entrenamiento específico de concentración mental.

Para el control mental de un robot, se plantearon dos comandos: uno que permitiese controlar la selección de comportamientos y otro, la ejecución de los mismos sobre la base de sus propios controladores (por ejemplo caminar hacia adelante para el robot bípido o girar a la derecha para el robot móvil). Esto no presentó mayores dificultades al ser asociada la ejecución a un estímulo de una bioseñal muscular. Sin embargo la selección de un comportamiento (en nuestro contexto, los correspondientes al menú de la familia de comportamientos del robot) a través del control mental, sobre la base de bioseñales provenientes del electro-encefalograma, no resultó práctico para el usuario, por la dificultad que se le presentó para controlar en forma estable el menú de selección de comportamientos.

Se estableció una arquitectura experimental que contempla dos vías de comunicación, la primera vía y principal objeto de estudio, la denominamos vía de comunicación de alto nivel "usuario-computadora". Esta vía se instrumentó con un BMI de bajo costo OCZ NIA [10], de empleo experimental en video juegos, que permitió la asociación de patrones de señales mentales con el teclado y controles del mouse de la computadora. Sobre estas

facilidades determinamos un profile simple para el manejo de los robots, que asocian y caracterizan en primer lugar, el control para la ejecución del comando mental sobre la base de la detección de señales musculares, en nuestro caso a través de un leve movimiento de los párpados. En segundo lugar la selección de los comandos de alto nivel del robot, en este caso se trabajó sobre la base de las ondas cerebrales Alfa. Este tipo de bioseñales no aseguraron un adecuado control al usuario en los desplazamientos, a través del menú de selección de comandos del framework de control del robot. Frente a esta razón se implementó en el framework la opción de aplicación de auto foco para el modo control mental, a fin de mejorar el gobierno del usuario en el proceso de selección. La segunda vía de comunicación la denominamos vía de comunicación de bajo nivel “computadora –robot”. Se efectuó para el caso del Robosapiens V1 a través del empleo de una torre IR [11]; para el robot móvil NXT se explotaron sus capacidades de comunicación en Bluetooth. La comunicación con robots vía IR, se basó sobre los resultados obtenidos en la captura y reproducción de comandos controlados desde una computadora [12], [13]. Se utilizó como interfase cerebro-máquina (brain-machine interfase/ BMI) el Neural impulse actuator (NIA) [10]. La comunicación de los comportamientos de robots se implementan en dos vías de comunicación (Fig 1), una de alto nivel entre el BMI-NIA y el framework y otra de bajo nivel entre este último a través del dispositivo de transmisión de comunicación con el robot.

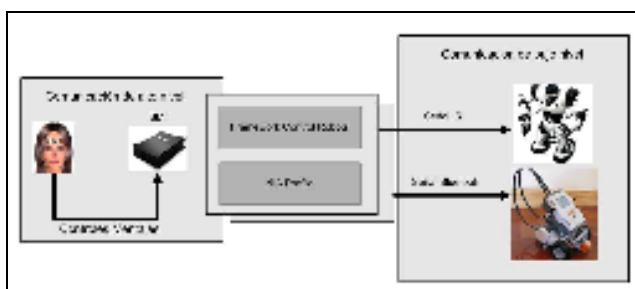


Fig.1. Integración BMI-NIA y Robots

La configuración del framework para el desarrollo de las pruebas en la modalidad

control mental con auto foco, adoptó la siguiente ruta de comandos: left-stop, forward-stop, right-stop. La ejecución del comando forward se configuró con un tiempo de 2 segundos y los giros con un tiempo de 50 segundos. Para las pruebas de control mental (sin auto foco) se desactivó dicha función y se empleó el mismo framework al igual que en el control manual, con los mismo parámetros temporales para la ejecución de forward y giros.

A la fecha no se han dominado todas las características del BMI de NIA: cada vez que se utiliza debe ser calibrado, si bien se encontró que la calibración no ha sido siempre necesaria, lo mejor es hacerlo antes de cada período de sesiones de pruebas. En diversas oportunidades no se arribó a los resultados deseados, especialmente en los primeros intentos, esto se debe en parte a la sensibilidad del equipo a campos electromagnéticos, como así también se encontró que el usuario también podía influenciar al BMI de NIA al tocarlo. Los usuarios en los entrenamientos iniciales al cabo de aproximadamente 30 minutos se cansaban y requerían un breve reposo. Al comenzar, el usuario realiza movimientos musculares exagerados, pero con la práctica y las mejoras en la calibración del profile, los movimientos musculares se minimizan. Las pruebas realizadas con el robot bípedo se orientaron a la ejecución libre de comandos mentales y sirvieron como base para la preparación de las pruebas de mayor complejidad con el robot móvil. Se documentó una de las pruebas funcionales de ejecución libre de comportamientos del bípedo con un video [14]. Las pruebas del robot móvil se realizaron sobre un área de experimentación (2,00 mts x 1,50 mts) sobre la cual se marcaron cuatro check-points (Cp). El primer caso de prueba fue el de control manual (MC) del robot controlado por el usuario, para este caso se realizaron tres sesiones de entrenamiento y tres sesiones de prueba. El segundo caso, fue el de control mental (BC), se realizaron nueve sesiones de entrenamiento previo y tres sesiones de

prueba. Con el tercer caso de prueba verificamos la propuesta de este trabajo: el empleo de control mental con auto-foco (BC-AF) en el comando a ejecutar, en función del patrón de navegación.

Se realizaron seis sesiones de entrenamiento y tres sesiones de prueba para esta modalidad. Para cada sesión de pruebas se tomaron los tiempos parciales de los tramos definidos entre cada check-point (Cp), “Resultados de experimentación robot móvil”. Se obtuvo como resultado preliminar que la combinación de control mental con auto foco (BC-AF) resultó más rápida que la solución de control manual, sin embargo la solución de control mental (BC) resultó más lenta en términos generales que una solución de control manual (MC). Los resultados promedios comparativos que se obtuvieron de las tres sesiones de pruebas para cada caso de control (manual, mental, mental con auto foco respectivamente) fueron: (a) el tiempo por tramo entre cada check point, (b) el tiempo total para realizar el patrón, (c) la diferencia de tiempo entre control manual y control mental, (d) la diferencia de tiempo entre control manual y control mental con auto foco, (e) porcentajes finales entre control manual y control mental, porcentajes finales entre control manual y control mental con auto foco.

Finalmente como síntesis podemos decir que el control mental con auto foco resultó en un 11,32 % mejor que el control manual, mientras que el control manual resultó un 111 % mejor que el control mental (sin auto foco). Se muestra en la Fig 2 la distribución comparativa de los tiempos promedios de las sesiones de pruebas para cada tramo: con control manual, control mental, y control mental con auto-foco respectivamente. Se muestra en la Fig 3 el tiempo total para cada tramo, por cada prueba en función del tipo de control (control manual, control mental, y control mental con auto-foco respectivamente). Podemos observar que, la segunda prueba de control mental (test 2 BC) fue la que demandó el mayor tiempo (45,47

seg) y la tercer prueba de control mental con auto foco (test 3 BC-AF) resultó ser la que menos tiempo demandó (13,93 seg) para completar el mismo patrón de navegación. Se documentó con videos parte de las pruebas detalladas: control mental [15], control mental con auto foco [16].

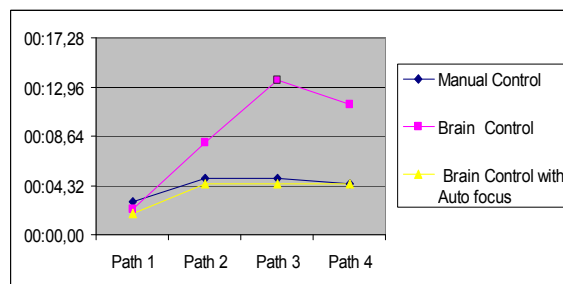


Fig. 2. Tiempo promedio entre path

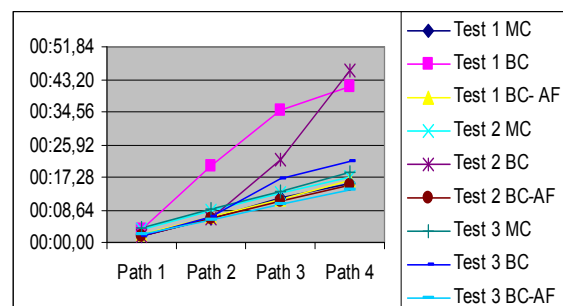


Fig. 3. Tiempo total para cada prueba

Actualmente nos encontramos trabajando en:

[a] comandos de control para un robot volador Fig 4 FlyTech Bladestar [17], aplicando interfaces USB-UIRT [11], para reconocer sus comandos e integrarlos al framework de control, aplicando la mencionada interface para la comunicación de bajo nivel con el robot volador. La comunicación de alto nivel con el framework se realizará con el BMI de NIA y en segundo lugar con el BMI de EMOTIV [18] según se muestra en la Fig 5.

[b] control de un robot e-puck desarrollado por EPFL, el Instituto Federal Suizo [19] de Tecnología en Lausanne y el BMI Emotiv.

[c] integración del control de un usuario remoto con un BMI a través de Internet con la incorporación de video en el framework de control.



Fig 4. FlyTech Bladestar



Fig 5. BMI Emotiv

3 Líneas de Investigación y Desarrollo

Integración de una solución de ingeniería para el control de sistemas de robots a través de bioseñales de humanos, en el contexto de aprendizaje por refuerzo, por la observación de un tutor humano.

4. Formación de Recursos Humanos

En la actualidad esta investigación está financiada por el PID 01-006-10 de FICCTE-UM, la integran cuatro investigadores y dos estudiantes de tesis de grado, orientadas al control remoto de robots por Bioseñales vía Internet, agregando futuras continuación a través de las líneas de investigación de aprendizaje por refuerzo de robots a través de bioseñales.

5. Bibliografía

- 1- J. Wessberg, C. R. Stambaugh, J. D. Kralik, P. D. Beck, M. Laubach, J. K., "Real-time prediction of hand trajectory by ensembles of cortical neurons in primates," *Nature*, vol. 408, pp. 361–365, 2000.
- 2- M. A. L. Nicolelis, "Brain-machine interfaces to restore motor function and probe neural circuits," *Nature Rev. Neurosci.*, vol. 4, pp. 417–422, 2003.
- 3- R. Wolpaw, D. J. McFarland, and T. M. Vaughan, "Brain-computer interface research at the Wadsworth center," *IEEE Trans. Rehab. Eng.*, vol. 8, pp. 222–226, 2000.

- 4- J. del R Millán, "Brain-computer interfaces," in *Handbook of Brain Theory and Neural Networks*, 2nd ed, M.A. Arbib, Ed. Cambridge, MA: MIT Press, 2002.
- 5- José Millán, Frédéric Renkensb, Josep Mouriñoc, and Wulfram Gerstnerb. Non-Invasive Brain-Actuated Control of a Mobile Robot by Human EEG. *IEEE Trans. on Biomedical Engineering*, Vol 51, June 2004.
- 6- Paul Saulnier, Ehud Sharlin, and Saul Greenberg. Using Bio-electrical Signals to Influence the Social Behaviours of Domesticated Robots. *HRI'09*, 2009, USA. ACM 978-1-60558-404-1/09/03.
- 7- <http://www.wowwee.com/en/products>
- 8- http://www.wowwee.com/static/support/robosapien/manuals/Robosapien_Manual.pdf
- 9- <http://mindstorms.lego.com/eng/Overview/default.aspx>
- 10- http://www.ocztechnology.com/products/ocz_peripherals/nia-neural_impulse_actuator.
- 11-USB-UIRT: <http://www.usbuirt.com/>
- 12-J. Ierache., M, Bruno., N, Mazza., M, Dittler "Robots y Juguetes Autónomos una Oportunidad en el Contexto de las Nuevas Tecnologías en Educación", *Proceedings VII Ibero-American Symposium on Software Engineering*. Pag 371-379
- 13- Ierache, J., Garcia-Martinez, R., De Giusti, A. (2009). A Proposal of Autonomous Robotic Systems Educative Environment. *Communications in Computer and Information Science* 44: 224–231. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. ISSN 1865-0929 / ISBN: 978-3-642-03985-0.
- 14- <http://www.youtube.com/watch?v=-04JjfMcdfU>
- 15- <http://www.youtube.com/watch?v=LhKV50jNgcY>
- 16- <http://www.youtube.com/watch?v=hD9CvQINxho>
- 17- <http://www.wowwee.com/en/products/toys/fliht/flytech/bladestar>
- 18- <http://www.emotiv.com/>
- 19- <http://www.e-puck.org/>