

# CONTROL DE ROBOTS BASADO EN BIOSEÑALES

Jorge Ierache<sup>1,2,3</sup>, Martin Dittler<sup>3</sup>, Gustavo Pereira<sup>3</sup>, Ramón García Martínez<sup>4</sup>.

Programa de Doctorado Facultad de Informática Universidad Nacional de La Plata<sup>1</sup>  
Laboratorio de Sistemas Inteligentes Facultad de Ingeniería. Universidad de Buenos Aires<sup>2</sup>  
Instituto de Sistemas Inteligentes y Enseñanza Experimental de la Robótica FICCTE<sup>3</sup>  
Grupo Investigación en Sistemas de Información. Departamento Desarrollo Productivo y Tecnológico.  
Universidad Nacional de Lanús<sup>4</sup>

Universidad de Morón, Cabildo 134, (B1708JPD) Morón, Buenos Aires, Argentina  
54 11 5627 200 int 189  
jierache@unimoron.edu.ar

## CONTEXTO

En la actualidad se trabaja en el control de robots a través de la adaptación de de Brain-Machine Interfase (BMI), nuestra líneas de trabajo se enfocan a la experimentación de soluciones de integración para el control de robots por bioseñales. Este proyecto se encuentra financiado por la Facultad de Informática, Ciencias de la Comunicación y Técnicas Especiales de la Universidad de Morón. Se trabaja en futuras pruebas de integración de control de Bioseñales para el control remoto de robots, como así también la participación de estudiantes de grado y posgrado para la continuación de las líneas de investigación relacionadas

## RESUMEN

En este artículo se describe el trabajo de investigación que en la actualidad se está desarrollando dentro del área de las comunicación de humanos a robots, sobre la base de bioseñales cerebrales, con la aplicación de tecnologías e interfaces disponibles que facilitaron las lecturas de señales del cerebro del usuario y su asociación a comandos explícitos que permitieron 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, el desarrollo de un framework de comunicación de alto y bajo

*Palabras clave: Robots, Maquina de interface con el Cerebro, Señales bio-electricas, Interfaces humano-maquina.*

## 1. INTRODUCCIÓN

La aplicación de bioseñales para el control de sistemas, robots, aplicaciones, juegos y dispositivos en general 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, estos biopotenciales incluyen 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 diversos trabajos se presentaron, los primeros trabajos 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 cómo 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 electro-encefalograma, 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 correspondiente al electro-encefalograma, la de electro-oculograma y el 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 sobre la base del electroencefalograma, nuestro trabajo se enfoca en la ejecución de un patrón de navegación por parte de un robot, confrontando 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. Sin embargo nuestro trabajo presenta en el contexto descrito una mejora en los tiempos de control mental, que supera ligeramente al control manual, en las pruebas de ejecución del mismo patrón de navegación, la que denominamos control mental con auto foco. En nuestra investigación se empleo 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], actualmente se trabaja en el control de un robot e-puck desarrollado por EPFL, el Instituto Federal Suizo de Tecnología en Lausanne y el BMI Emotiv.

## **2. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO**

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

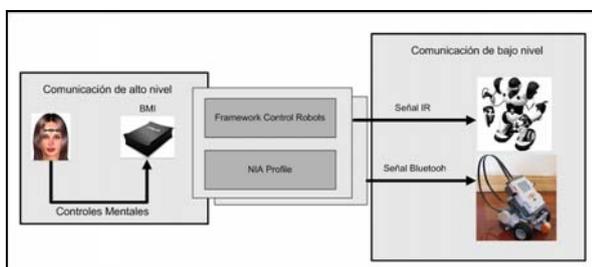
## **3. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

Nuestro objetivo inicial fue explorar una solución de ingeniería que nos permita 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 permite controlar la selección de comportamientos y otro que permite la ejecución, de los comportamientos de los robots, sobre la base de sus propios controladores (por ejemplo caminar hacia adelante para el robot bípedo 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 de control mental, sobre la base de bioseñales provenientes del electro-encefalograma, no resultó práctico para el usuario, en razón a 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 permite la asociación de patrones de señales mentales con el teclado y controles del mouse de la computadora. Sobre estas facilidades se determinó 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] y 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]. Se utilizó como interface cerebro-máquina (brain-machine interface/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, podemos comentar: que cada vez que se utiliza debe ser calibrado, si bien se encontró que la calibración no ha sido siempre necesaria, lo mejor es calibrar 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 bípido 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 bípido con un video [13]. Las pruebas del robot móvil se realizaron sobre una 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 de prueba fue el de control mental (BC), se realizaron nueve sesiones de entrenamiento previo y tres sesiones de prueba. El tercer caso de prueba se realizó para verificar la propuesta de este trabajo, en relación al 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 cada tramo definido 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 obtenidos de las tres sesiones de pruebas para cada caso de control (manual, mental, mental con auto foco respectivamente): (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, sin embargo 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. Finalmente 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). Para completar el patrón de navegación, 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 [14], control mental con auto foco [15].

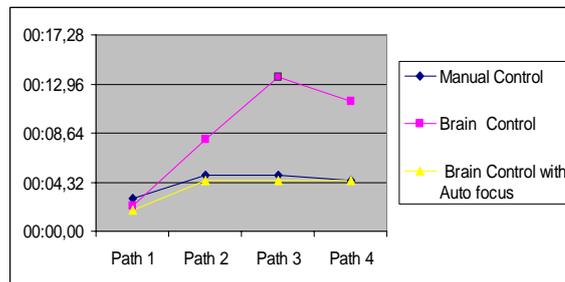


Fig. 2. Tiempo promedio entre path

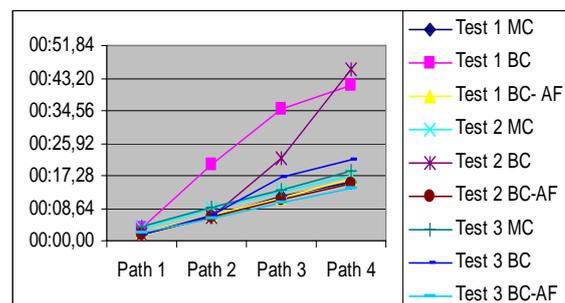


Fig. 3. Tiempo total para cada prueba

Finalmente los trabajos futuros se centrarán en el control de un robot e-puck desarrollado por EPFL, el Instituto Federal Suizo de Tecnología en Lausanne y el BMI de Emotiv.

#### 4. FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

En la actualidad esta línea de investigación vincula al PID de FICCTE-UM, lo integra un estudiante de Doctorado que trabaja en el área de sistemas autónomos de robots y dos estudiantes de tesis de grado orientadas al control remoto de robots por Bioseñales vía Internet y su futura 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. Chapin, J. Kim, S. J. Biggs, M. A. Srinivassan, and M. A. L. Nicolelis, “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, March 11–13, 2009, La Jolla, California, USA. ACM 978-1-60558-404-1/09/03.
- [7] WowWeeRobotics. <http://www.wowwee.com/en/products>
- [8] RS [http://www.wowwee.com/static/support/robosapien/manuals/Robosapien\\_Manual.pdf](http://www.wowwee.com/static/support/robosapien/manuals/Robosapien_Manual.pdf)
- [9] NXT <http://mindstorms.lego.com/eng/Overview/default.aspx> nzt
- [10] NIA [http://www.ocztechnology.com/products/ocz\\_peripherals/nia-neural\\_impulse\\_actuator](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] Video Bípido: <http://www.youtube.com/watch?v=-04JjfMcdfU>
- [14] Video **Brain** control: <http://www.youtube.com/watch?v=LhKV50jNgcY>
- [15] Video Brain control con auto foco: <http://www.youtube.com/watch?v=hD9CvQINxho>