

## Control vía Internet de un Robot ubicado en un sitio remoto aplicando una Interfase Cerebro-Máquina

Gustavo Pereir<sup>1</sup>a, Juan D'Alott<sup>1</sup>o, Iris Sattolo<sup>1</sup>, Alejandro Guerrero<sup>1</sup>, Juan Iribarren<sup>1</sup>, Jorge Ierache<sup>1,2</sup>

Instituto de Sistemas Inteligentes y Enseñanza Experimental de la Robótica  
Facultad de Informática Ciencias de la Comunicación y Técnicas Especiales <sup>1</sup>  
Universidad de Morón, Cabildo 134, (B1708JPD) Morón, Buenos Aires, Argentina  
54 11 5627 200 int 189  
Faculta de Ingeniería Universidad de Buenos Aires<sup>2</sup>  
jierache@yahoo.com. ar

**Abstract:** 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 y puntualmente en sitios remotos. Para esta investigación se aplican tecnologías, interfases disponibles y protocolos de comunicación estándar que facilitan la lectura de las señales del cerebro del usuario, su asociación a comandos explícitos y la comunicación entre los sitios remotos.

**Keywords:** Robots, Brain Machine Interface, Bio-Electrical Signal, Human Machine Interfaces.

### 1 Introducción

En este artículo se extiende nuestros trabajos realizados en materia de control de robots aplicando bioseñales [1] [2],[3], incorporado en esta oportunidad el control a través de un robot ubicado en un sitio remoto, con la aplicación de interfaces cerebro-máquina(BMI).

Todo organismo viviente genera, desde origen, señales biológicas, las cuales proporcionan un potencial eléctrico que puede ser capturado a través de distintas herramientas usadas en medicina: el electromiograma, el electrooculograma, y el electroencefalograma entre otros. Los mismos y respectivamente capturan señales que son originados por los músculos, ojos y cerebro.

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 estos biopotenciales eléctricos registrados en el 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 [4], [5]. 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 [6], [7] basados en el empleo de Brain-Machine Interface (BMI). Millan et. al. [8] 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. [9] 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.

En la anterior investigación se trabajó en la ejecución de un patrón de navegación por parte de un robot.[1]. En el mismo presentamos una mejora en los tiempos de control mental ejecutando el mismo patrón de navegación la que hemos denominado control mental con auto foco.

Se utilizó como brain-machine interface (BMI) el Neural impulse actuator (NIA) [10], Éste se compone de una unidad de control (figura 1) y una banda con tres sensores en forma de diamantes que se coloca sobre la frente del usuario (figura 2), fabricados con nanotecnología de fibra de carbono. La unidad de control se conecta a la computadora y alimenta a través de una conexión USB 2.0, el software que acompaña a NIA permite la calibración, entrenamiento, definición de perfiles de control que se integran a las aplicaciones.



**Fig. 1.** BMI-NIA-

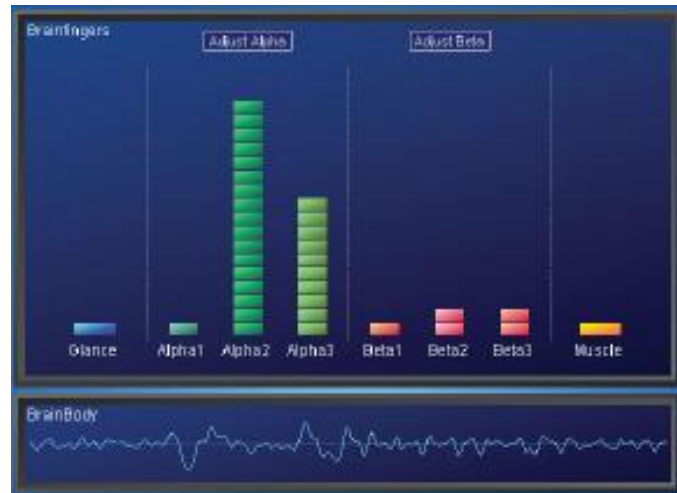


**Fig. 2.** Banda – NIA

La preparación del profile para controlar al robot requiere pensar en la intuición del comportamiento del robot que se desea controlar. Las capacidades de BMI son diferentes a la de un teclado, por lo que las estrategias de control se deben ajustar de manera consecuente para aprovechar los tiempos de reacción más reducidos y de mayor nivel de inmersión en el comportamiento del robot.

El BMI-NIA cuenta con una aplicación que tiene un panel de control y configuración para permitir la auto calibración de las bioseñales registradas (Fig 3.) a través de sus componentes: electro-oculograma que detecta la mirada, (actividad del movimiento

ocular), el electro-encefalograma que registra las ondas cerebrales alfa (9-13 Hz, que se presentan en situaciones del tipo: despierto, estado de alerta normal, consciente) y las ondas beta (14-30 Hz que se presentan en situaciones del tipo: relajado, calmo, lucido, no está pensando), y finalmente a través del electro-miograma, que detecta la amplitud muscular. Además la aplicación cuenta con herramientas para la creación y edición de perfiles que permiten la asociación de bioseñales con comandos de teclado.



**Fig. 3.** Panel de Bioseñales

Para la creación de perfiles en el BMI de NIA, se considera en primer lugar eventos de cambio o switch, éstos están pensados para la selección de acciones que requieren una sincronización precisa para eventos de cambio, como por ejemplo saltar en un juego de acción, girar a la derecha para un robot móvil o paso a la derecha para un robot bípedo. Los eventos de cambio además se pueden asignar a una única transferencia de datos, vinculados sólo a un click o una tecla o una función de retención. En este último caso la acción vinculada a la tecla continuará ejecutándose todo el tiempo que el evento de cambio permanezca activo. El BMI-NIA nos permite vincular el profile hasta con tres eventos de cambio diferentes. El BMI-NIA considera como segundo paso para la creación de un profile, la creación de hasta un máximo de cuatro joysticks (horizontales, verticales o paralelos). Cada joystick vertical permite la definición de hasta cuatro zonas diferentes, por cada zona se pueden declarar hasta tres eventos de cambio, además cada zona esta también asociada a un modo (activar/desactivar, retener la tecla durante un tiempo, un solo clic, retrasar la activación por un tiempo definido, repetir con un intervalo definido, repetir y retener, etc). Cada una de las bioseñales pueden utilizarse en un joystick o más en paralelo que utilicen la misma bioseñal de entrada, el resultado es el mismo que pulsar de forma simultánea dos o tres teclas en un teclado. Al joystick horizontal se le puede asignar también cuatro zonas, dos a la izquierda y dos a la derecha, este se aplica con la bioseñal proveniente del electrooculograma denominada glance (mirada), la cual

sigue los movimientos laterales del ojo y se podría utilizar para que el robot gire a la derecha o al izquierda. Al igual que el joystick vertical se definen hasta tres eventos de cambios y modos para cada zona. Para cada joystick se puede ajustar en forma independiente el nivel, amplificación, y suavizado de las bioseñales.

En este orden también se desarrollaron las primeras experiencias con el BMI-Emotiv [11], este se caracteriza por estar constituido de unos brazos de plástico maleable que garantizan la correcta ubicación de los sensores sobre el cuero cabelludo y poseen una almohadilla humedecida en una solución salina en cada contacto para favorecer la conducción.

Además de los electrodos, el casco Emotiv Epoc (Fig 4) contiene un giróscopo compuesto por dos acelerómetros que facilitan información sobre los movimientos que el usuario realiza con su cabeza y un transmisor inalámbrico mediante el cual mantiene un enlace con el receptor USB conectado a la computadora, todo esto alimentado por una batería recargable también vía USB.

Tanto desde la API como desde el software (Fig 5) incluido en el kit de desarrollo se puede monitorear el nivel de contacto de los electrodos, el movimiento del giróscopo, la intensidad de la señal inalámbrica y la carga de la batería.

Durante las primeras prácticas se pudo comprobar el correcto funcionamiento del equipamiento según lo especificado en el manual de usuario. Además se pudo constatar que el casco registra tanto la parte cognitiva como la expresiva.



**Fig.4** . Interfase Emotiv Epoc

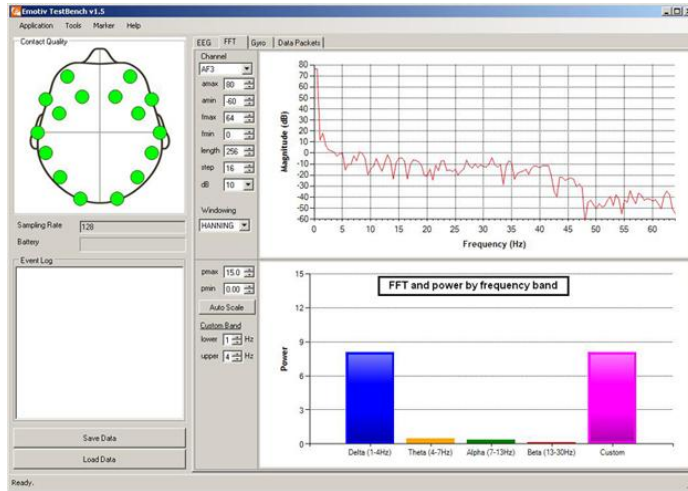


Fig.5 . Software de configuración del Emotiv Epoc

## 2 Problema

El objetivo fue conseguir una solución de ingeniería que nos permitiera alcanzar una integración primaria de un BMI para realizar el control de un robot ubicado en un sitio remoto. Considerando que el robot en el sitio remoto pueda ser operado por un usuario que no requiera tener experiencia previa con técnicas de meditación o entrenamiento específico de concentración mental y especialmente que la comunicación sea sobre protocolos de ya existentes y que puedan ser implementados en múltiples plataformas.

## 3 Solución propuesta

Para mantener la premisa de que el control mental pueda ser usado por un usuario sin experiencia en controles BMI 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 moverse hacia adelante o girar a la derecha).

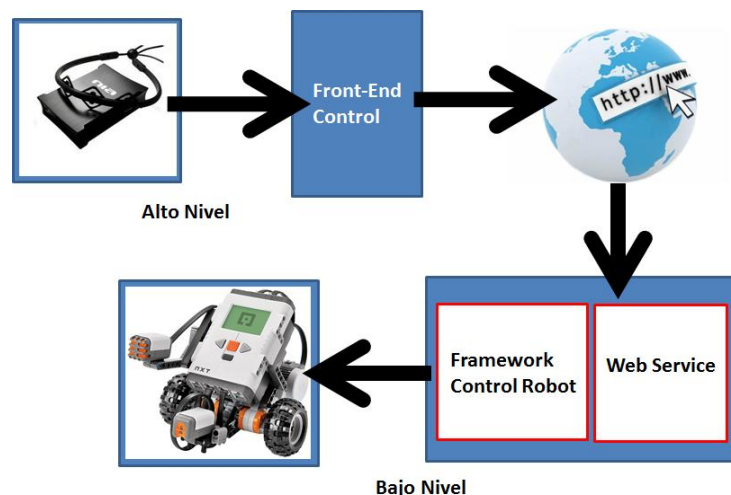
Se estableció una arquitectura experimental que contempla dos vías de comunicación, la primera vía la denominamos vía de comunicación de alto nivel ó “usuario-computadora”. Esta vía, al igual que en las investigaciones previas se instrumentó con un BMI de bajo costo OCZ NIA [10], de empleo experimental en video juegos, que permitió la asociación de patrones de señales mentales con el teclado de la computadora. Sobre estas facilidades determinamos un perfil simple

para el manejo del robot, que asocia y caracteriza 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 de un panel ú 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 [1],. para el modo control mental, a fin de mejorar el gobierno del usuario en el proceso de selección de comandos.

La segunda vía de comunicación, denominada vía de comunicación de bajo nivel “computadora–robot”. Se efectuó a través de comunicación en Bluetooth la cual es nativa en el kit del robot Lego NXT y para la cual hay una gran cantidad de librerías disponibles para su comunicación con una computadora.

Por último, ambas vías de comunicación fueron implementadas mediante un servicio web el cual recibe los comandos del cliente remoto y los transfiere vía HTTP, utilizando el protocolo de comunicación SOAP,conectando a una capa que controla la conexión bluetooth del Lego NXT [12], y sus primitivas de movimiento. Esta capa fue implementada por medio de las librerías AForce [13], que facilitan el dominio de un robot NXT con el Framework .NET de Microsoft.

Se presentan muestra en la Fig 6 la arquitectura conceptual implementada para alcanzar la integración entre el BMI del usuario que efectúan el control de un robot ubicado en un sitio remoto

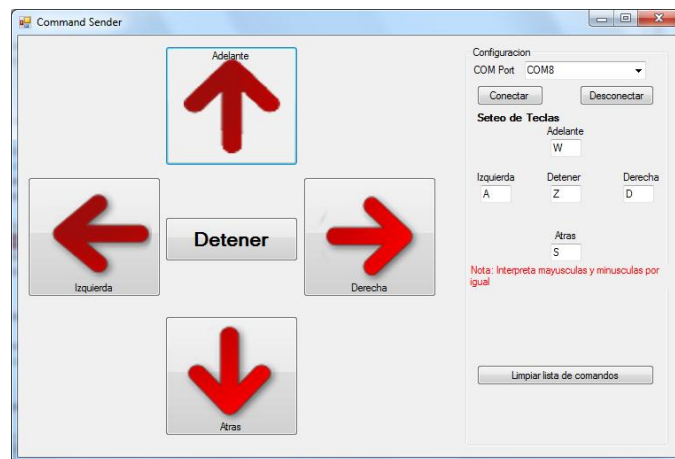


**Fig.6.** Integración de BMI-NIA y Robot ubicado en un sitio remoto

El siguiente paso de la investigación fue desarrollar un sistema de control remoto de la interface que permita manejar un robot en un sitio distante por medio de una conexión a internet.

Para llegar a este cometido se desarrolló una arquitectura por medio de un web service el cual recibe los comandos de las primitivas de conexión y de movimiento y los envía a un robot NXT por medio de una interface bluetooth que corre desde una computadora remota con bluetooth. Tomando como base para el desarrollo del framework de control, la interface diseñada anteriormente [1] [2],[3], para las pruebas con BMI-NIA

Se presenta la interfase gráfica del cliente (Fig 7) con los controles para las primitivas de movimiento, así como también los parámetros de configuración del puerto de comunicación del NXT en el servidor.



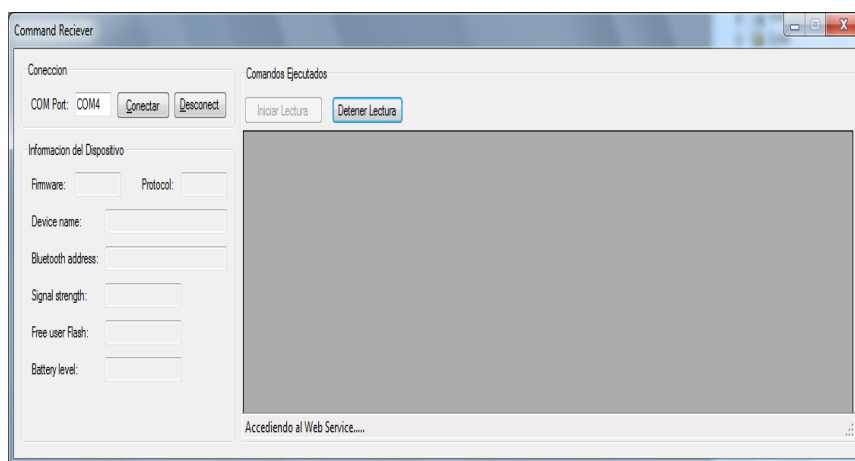
**Fig. 7.** Interfase cliente

En el servidor remoto se encuentra el web service, el cual recibe los comandos del cliente y los traduce a las instrucciones para el NXT. Se eligió implementar un web service para tener una conexión segura, con un protocolo conocido de comunicaciones y porque permite que se desarrolle el cliente en varios lenguajes de programación y para múltiples plataformas. Para la prueba del web service se incorporó un frontend (Fig 8) que permite ver las tramas recibidas, ejecutadas por el NXT y los datos de conexión.

La visualización de los movimientos del robot en el sitio remoto se efectuaron inicialmente mediante un cliente de video llamadas estándar.

La razón por la que no se implementó la transmisión de video en el framework de comunicación, es debido a que de esta manera se pueden utilizar diversos dispositivos

para transmitir el video, como por ejemplo: webcams, teléfonos inteligentes, tablets, etc.



**Fig. 8.** Front-end de control del Web Service

Finalmente se realizaron diversas pruebas registradas en video (control remoto manual y control remoto con BMI integrado) [14].

## 4 Conclusiones y Futuras Líneas de Investigación

Debido a las experimentaciones anteriores con el BMI de NIA no se han tenido problemas con la adaptación con este nuevo proyecto, al igual que en nuestros trabajos anteriores, el NIA requiere de una calibración cada vez que se utiliza, y si bien se encontró que la calibración no ha sido siempre necesaria, lo mejor es hacerlo antes de cada período de sesiones de pruebas y siempre con el perfil de cada usuario.

Un factor que se agregó en este nuevo desarrollo es el retardo en las acciones del robot con respecto a la ejecución por parte del usuario. El tiempo que tarda en transmitirse el comando desde el cliente hasta el sitio remoto, sumado a la transmisión de video genera en el usuario una cierta incertidumbre de que el sistema no esté funcionando de manera correcta, el usuario se tensiona y afecta los comandos que genera el BMI. Por lo tanto, se requiere que el usuario este consciente de esta situación e intente relajarse más de lo normal para evitar estos episodios.

La conexión con el servicio web no generó ningún tipo de inconveniente, una vez emparejado el robot móvil con la computadora mediante bluetooth el funcionamiento fue óptimo, solamente se generan inconvenientes cuando se envían comandos muy seguidos. Antes de realizar las pruebas con el BMI incorporado al framework se testeó la comunicación con el servicio web por medio de una red local y luego por



medio de internet. En ambos casos los tiempos de ejecución y respuesta fueron muy similares.

Las pruebas actuales con un servicio dedicado de videoconferencia resultaron satisfactorias, la imagen no tenía retardos, asegurando una respuesta adecuada en el ciclo observación-control del robot en el sitio remoto, a través de las bioseñales del cliente.

Actualmente se encuentra en estudio y migración del BMI de NIA al BMI de EMOTIV con el que se implementaran mayores prestaciones de control extendidas tanto a robots como dispositivos remotos de control infrarrojo (Aire Acondicionado, TV, entre otros dispositivos., que se integraran al framework de control facilitando a personas discapacitadas el control, al igual que la interacción y control de estos usuarios con dispositivos ubicados en sitio remotos

En la actualidad esta línea de investigación está vinculada al PID de FICCTE-UM, la integran cuatro investigadores y cinco estudiantes de tesis de grado, orientadas al control remoto de robots por Bioseñales vía Internet, agregando futuras líneas de investigación de aprendizaje por refuerzo de robots a través de bioseñales.

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 para la continuación de las líneas de investigación relacionadas.

## **7 Bibliografía**

1. Ierache, J., Dittler M., Pereira G., García Martínez R., (2009) "Robot Control on the basis of Bio-electrical signals" XV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación 5 al 9 octubre CACIC 2009, Universidad Nacional de Jujuy, Facultad de Ingeniería, ISBN 978-897-24068-3-9, pag 30.
2. Ierache, J., Dittler, M. García-Martínez, R., "Control de Robots con Basado en Bioseñales". XII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación WICC 2010: Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Calafate, Santa Cruz, Argentina. 5 y 6 de mayo de 2010, ISBN 978-950-34-0652-6, pag 641
3. Ierache, J, Pereira, G, Sattolo, I, Guerrero, A, D'Altto J, Iribarren, J. "Control de Robots con la Aplicación de Interface Cerebro – Máquina" (2011). XIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación WICC 2011: Procesamiento de Señales y Sistemas de Tiempo Real, Universidad Nacional de Rosario, Argentina. 5 y 6 de mayo de 2011, pag 767, ISBN 978-950-673-892-1
4. 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.

5. M. A. L. Nicolelis, "Brain-machine interfaces to restore motor function and probe neural circuits," *Nature Rev.Neurosci.*, vol. 4, pp. 417–422, 2003.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. [http://www.ocztechnology.com/products/ocz\\_peripherals/ia-neural\\_impulse\\_actuator](http://www.ocztechnology.com/products/ocz_peripherals/ia-neural_impulse_actuator).
11. <http://www.emotiv.com/>
12. <http://mindstorms.lego.com/eng/Overview/default.aspx>
13. <http://www.aforgenet.com/>
14. <http://www.youtube.com/roboticaum>