

MAPEO PROBABILÍSTICO Y LOCALIZACIÓN SIMULTÁNEAS EN UN ROBOT MÓVIL GOBERNADO POR UNA ICC

F. A. Auat Cheeín¹, R. Carelli¹, A. Frizera Neto², T. F. Bastos Filho², W. C. Celeste²

¹*Instituto de Automática, Universidad Nacional de San Juan, Av. San Martín Oeste 1109, San Juan, Argentina. {fauat, rcarelli}@inaut.unsj.edu.ar*

²*Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Av. Fernando Ferrari, 514, Vitória-ES, Brasil. {anselmo, teodiano, wanderley}@ele.ufes.br*

Resumen— En este trabajo se presenta la aplicación de un algoritmo de Mapeo Probabilístico y Localización Simultáneos (SLAM, por sus siglas en inglés de Simultaneous Localization and Mapping) en una Interface Cerebro-Computadora (ICC) que gobierna la navegación de un robot móvil. La ICC consta de un panel con lugares y funciones predefinidas dentro de un ambiente conocido. El paciente, mediante sus señales electroencefálicas, puede elegir a voluntad desde el panel de control, la función a ejecutar o el destino a alcanzar por el robot móvil. El algoritmo de SLAM permite generar mapas probabilísticos de nuevos entornos. Estos mapas, son segmentados y adicionados a la ICC, ampliando así las opciones del panel. Con los mapas obtenidos es posible generar trayectorias de navegación para el robot móvil. Acompañan este trabajo los resultados experimentales obtenidos.

Palabras Clave— SLAM, robot móvil, Interfaces Cerebro-Computadora.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de Interfaces Cerebro-Computadoras (ICC) para el tratamiento de discapacidades físicas está relacionada principalmente a mejorar la movilidad del paciente y a su interacción con otras personas.

Las ICC adquieren las señales electroencefálicas, filtran sus artefactos y las interpretan. Esta interpretación no necesariamente implica la directa lectura de la intención del paciente, sino también la adjudicación de un determinado comando de acción al detectarse un evento -estado mental- específico. Tanto los eventos y los estados mentales en general, deben haber sido generados por el paciente en forma voluntaria. El objetivo de la ICC es la aplicación a la que es destinada.

Entre las distintas aplicaciones de la ICC se pueden citar: el control del movimiento de un puntero de mouse (Baztarrica, 2002); la escritura de una carta mediante la selección de los caracteres (Baztarrica, 2002); el control de un robot móvil (Auat Cheeín, 2005); el control de la posición de un manipulador robótico (Ferreira et al., 2006), entre otros.

La estructura de la ICC utilizada en este trabajo, se muestra en la Fig. 1.

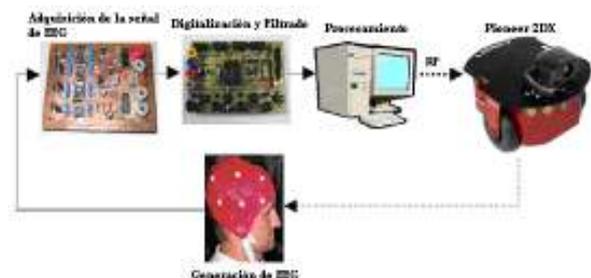


Fig. 1. Esquema general de la interface cerebro-computadora.

La señal de EEG, luego de adquirida y digitalizada, debe ser procesada. De este procesamiento, se extrae la información necesaria para detectar e interpretar el evento generado por el usuario (Tirpak et al., 2004).



Fig. 2. Panel de control de la ICC. Cada ícono representa un lugar representativo a donde el robot móvil se debe dirigir. El funcionamiento de este panel se puede ver en (Neto et al., 2006a).

El entorno visual de la interface, se compone de un panel de selección, como se ve en la Fig. 2, donde el paciente escoge el lugar a acceder por el dispositivo ejecutor de la ICC, que en este trabajo es un robot móvil tipo Pioneer 2DX, aunque el fin de este proyecto, es la implementación de la ICC en una silla de ruedas motorizada. Los lugares a acceder por el robot móvil, requieren de conocer previamente el mapa del entorno donde se está desplazando.

En este trabajo se presenta la implementación de algoritmos de SLAM basados en el filtro de Kalman en una ICC, como una nueva función dentro del panel de control. Esta función surge de la necesidad de mapear en entornos desconocidos e incorporar dichos mapas al panel original. Con un mapa previo en el panel de control, el usuario puede generar trayectorias de navegación dentro del entorno para, por ejemplo, llegar a un punto determinado dentro del ambiente donde se encuentra.

Este trabajo se organiza como se explica a continuación. En la sección 2, se muestra la arquitectura de la función de navegación libre con SLAM que se implementa en el panel de control de la ICC. La sección 3 explica y referencia cada una de las etapas de la arquitectura mostrada en la sección anterior. En la sección 4 se muestran los resultados experimentales. La sección 5, son las conclusiones y trabajos futuros.

2. ARQUITECTURA DEL SISTEMA

En la Fig. 3 se puede ver la arquitectura del sistema implementado en este trabajo.

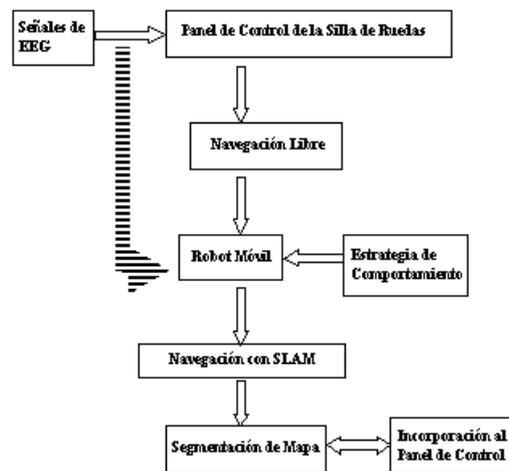


Fig. 3. Arquitectura del sistema propuesto.

Cada etapa del sistema se explica a continuación:

- I. Señales de EEG: se refiere a la adquisición, procesamiento e interpretación de las señales electroencefalográficas (EEG). Esta etapa es realizada por la ICC.
- II. Panel de control de la ICC: Contiene las funciones predefinidas de navegación del robot móvil como así también los destinos dentro de un mapa conocido.
- III. Navegación libre: es la opción de navegación libre de restricciones del robot móvil.
- IV. Robot Móvil: se implementaron los algoritmos de navegación en un robot móvil (RM) del tipo Pioneer 2DX con 16 sensores de ultrasonido.
- V. Estrategia de Comportamiento: son algoritmos de comportamiento incorporados a la navegación del robot móvil para proteger la integridad del mismo.
- VI. Navegación con SLAM: mientras navega el robot móvil, construye un mapa del entorno y se localiza, de tal manera de disponer de información previa para una navegación posterior.
- VII. Segmentación de mapa: cuando finaliza la navegación libre, el entorno reconstruido es segmentado. Este nuevo mapa es de menor complejidad y menor tamaño. Éste es el mapa que será tenido en cuenta para posteriores trayectorias.

3. ETAPAS DE LA ARQUITECTURA DEL SISTEMA

En esta sección se explicarán con más detalles cada etapa de la arquitectura presentada en la Fig. 3.

3.1 Señales de EEG

La adquisición y procesamiento de las señales de EEG es realizada por la ICC. En este trabajo, se detectaron y procesaron eventos relacionados a la sincronización y desincronización, que tienen lugar en la región occipital del cráneo (Teplan, 2002). La detección e identificación de estos eventos, son

funciones de la ICC. En (Bazarrica, 2002) se puede ver explicado con más detalle éste aspecto.

3.2 Panel de control

El panel de control de la ICC, permite al usuario de la misma, disponer de un conjunto de funciones predefinidas asociadas al movimiento del robot móvil o al entorno donde se encuentra. Entre las opciones más frecuentes dentro del panel, se pueden citar las siguientes: ir hacia un determinado lugar -por ejemplo, un baño- dentro de un mapa específico; disminuir o aumentar la velocidad de desplazamiento y acercarse hasta cierta distancia de un objeto específico. La selección de cada función del panel es realizada mediante el usuario ante la generación de los eventos de sincronización y desincronización mencionados anteriormente. La forma en que se presenta el panel y su funcionamiento puede ser visto en (Neto et al., 2006b).

3.3 Navegación libre y estrategia de comportamiento

Mediante la ICC, el usuario de este sistema, genera los comandos de movimientos necesarios para la navegación libre del robot móvil. La forma en que son generados e identificados estos comandos, puede ser visto en (Auat Cheeín, 2005). Los cinco comandos básicos de movimientos son: marcha hacia adelante, marcha hacia atrás, giro a la izquierda, giro a la derecha y parada. Estos comandos se pueden interpretar como el alfabeto de salida de la ICC. Estos cinco comandos, permiten al RM desplazarse dentro de un ambiente no estructurado.

Debido a que la integridad del robot móvil debe ser protegida, se implementaron estrategias de comportamiento dentro del autómata. Estas estrategias tienen como fin evitar colisiones y obstáculos en el desplazamiento del RM. Las estrategias implementadas se pueden ver en (Auat Cheeín, 2005).

3.4 Robot móvil

Durante la fase de experimentación, se utilizó un robot móvil del tipo Pioneer 2DX con 16 sensores de ultrasonido.

3.5 Cinemática del Robot Móvil

Las ecuaciones cinemáticas que describen el movimiento del RM están dadas por (1).

$$\begin{cases} \dot{x} = u \cos \varphi \\ \dot{y} = u \sin \varphi \\ \dot{\phi} = \dot{\varphi} \end{cases} \quad (1)$$

donde u es la velocidad lineal, φ es la orientación, ϕ es la velocidad angular del RM, \dot{x} es la velocidad lineal en la dirección x , \dot{y} es la velocidad lineal en la dirección y . En la Fig. 6 se muestra el modelo cinemático del RM.

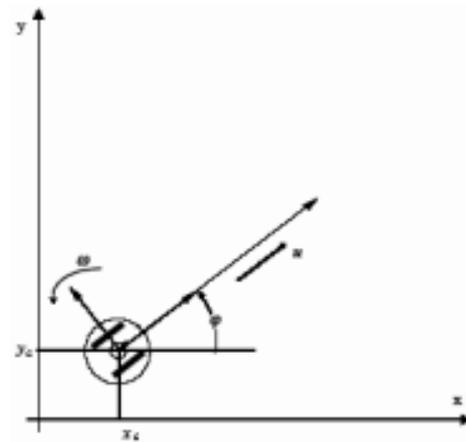


Fig. 4. Modelo cinemático del Robot Móvil.

3.6 Navegación con SLAM

Cuando la opción de navegación con SLAM es seleccionada por el usuario dentro del panel de control de la interface, el robot móvil construye un mapa basado en los sensores de ultrasonido que dispone. Simultáneamente al mapeo, se localiza el robot móvil de forma tal de confeccionar un mapa del entorno con el menor error de odometría posible.

Para mapear y localizar simultáneamente, se implementa en el robot móvil un algoritmo de SLAM basado en el filtro de Kalman (Newman, 1999) que se presenta a continuación.

3.7 SLAM basado en el filtro de Kalman

Los sensores de ultrasonido del robot móvil, aportan la información suficiente para reconstruir el mapa del entorno. Para que esto sea posible, la pose (posición y orientación) del robot debe tener un mínimo de error.

El filtro de Kalman implementado corrige los errores de odometría del robot móvil (Newman, 1999).

3.8 Filtro de Kalman extendido

En este trabajo se implementó un filtro de Kalman Extendido. Asumiendo que el modelo del sistema está representado por (2),

$$\begin{cases} \dot{x} = f(x, u, t) + G(t)w \\ z_k = h(x(t_k), t) + v_k \end{cases} \quad (2)$$

donde x es el vector de estados del sistema y z_k es la k -ésima medición, el objetivo del filtro de Kalman es reconstruir el vector de estados x para cualquier instante, dada la medición z_k . Se asume además que, el estado inicial $x(0)$, el ruido del proceso w y el ruido de la medición v son gaussianos y descorrelacionados entre sí. En (3), se muestra la hipótesis de gaussianidad.

$$\begin{cases} x(0) \sim N(\bar{x}_0, P_0) \\ w(t) \sim N(0, Q) \\ v_k \sim N(0, R) \end{cases} \quad (3)$$

La formulación del Filtro de Kalman Extendido se puede ver en (Bailey, 2002).

3.9 Aplicación del EKF a robots móviles

Las siguientes expresiones son las ecuaciones del EKF para la implementación en la corrección de odometría de un robot móvil.

$$\begin{cases} \bar{x} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ \varphi \end{pmatrix} \\ f(\bar{x}, u, t) = \begin{pmatrix} u_{control} \cos(\varphi) \\ u_{control} \sin(\varphi) \\ \omega_{control} \end{pmatrix} \\ G = \begin{pmatrix} \cos(\varphi) & 0 \\ \sin(\varphi) & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \\ w = \begin{pmatrix} e_{u_control} \\ e_{\omega_control} \end{pmatrix} \end{cases} \quad (4)$$

En (4), $u_{control}$ y $\omega_{control}$ son las velocidades de control lineal y angular respectivamente del autómata; $e_{u_control}$ y $e_{\omega_control}$ son los errores de las señales de control, \bar{x} es el vector de estados del robot móvil. La matriz asociada al vector w está compuesta por los parámetros de sintonización mostrados en (5).

$$Q = \begin{pmatrix} q_1 & 0 \\ 0 & q_2 \end{pmatrix} \quad (5)$$

En (13), se asume independencia estadística entre $e_{u_control}$ y $e_{\omega_control}$.

Sea A el jacobiano de f , luego,

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -u_{control} \sin(\varphi) \\ 0 & 0 & u_{control} \cos(\varphi) \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (6)$$

y,

$$h(\bar{x}, t) = \begin{pmatrix} x \\ y \\ \varphi \end{pmatrix} \quad (7)$$

donde el jacobiano de (7) es,

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (8)$$

El algoritmo de EKF para la corrección de odometría en robots móviles, se encuentra descrito por las ecuaciones (4) a la (8).

Finalmente, el mapa que se obtiene, es un mapa métrico probabilístico de acuerdo a (Elfes, 1987), donde cada celda, tiene una dimensión de 0.1 x 0.1 m. Si una celda se encuentra ocupada, su probabilidad de ocupación es cercana a uno; si está vacía, su probabilidad de ocupación es cercana a cero.

3.10 Segmentación

Una vez que el usuario abandona la opción de *Navegación con SLAM*, el mapa obtenido mediante este algoritmo es sometido a un proceso de segmentación.

El proceso de segmentación se describe a continuación.

- I. Partiendo de la posición inicial del robot dentro del entorno, se selecciona un bloque de 0.5 x 0.5 m dentro del mapa, lo cual representan 25 celdas del mapa probabilístico.
- II. A cada bloque se le asigna un peso de probabilidad de ocupación, el cual corresponde al promedio de las cinco celdas constitutivas del bloque que presenten la mayor probabilidad de ocupación. Esto es así dado que una pared, por ejemplo, dentro de un bloque, queda representada por lo menos por cinco celdas con probabilidad cercana a uno.
- III. Por último, el mapa segmentado es sometido a un proceso de umbralización, donde todo bloque con probabilidad menor a 0.5, se lo considera libre de ocupación y todo bloque con probabilidad mayor a 0.5, se lo considera ocupado.

El mapa segmentado, es luego incorporado al panel de control de la interface. Así, el usuario, cuando ingresa a un entorno ya navegado y mapeado, selecciona el mapa correspondiente a dicho entorno. Una vez que dicho mapa fue seleccionado, el mapa segmentado le permite al usuario elegir el lugar de destino y trazar una trayectoria al mismo. Algoritmos de control de trayectorias y evitación de obstáculos, fueron incluidos en la interface. El funcionamiento del mapa segmentado y de los controladores implementados en el robot móvil se pueden ver en (Neto et al., 2006b).

4. RESULTADOS EXPERIMENTALES

En la Fig. 5 se puede ver el mapa obtenido por el robot móvil Pioneer 2DX mientras navega por un corredor. El error de odometría no está corregido.

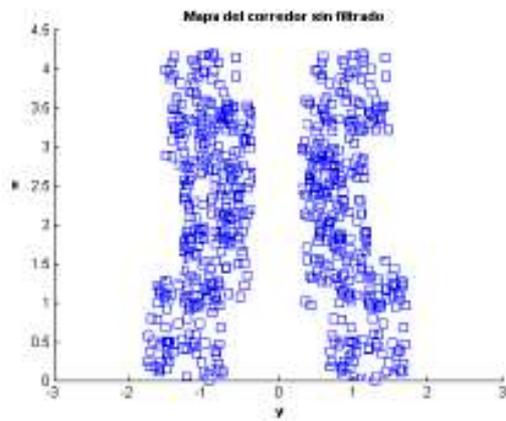


Fig. 5. Mapa del corredor sin filtrado.

En la Fig. 5, el robot móvil se desplaza a lo largo del eje y . En la Fig. 6, se puede ver el mapa que se obtiene cuando se aplican los algoritmos de localización expuestos. Comparando las Figs. 5 con 6, se puede ver como la incertidumbre del mapa disminuye.

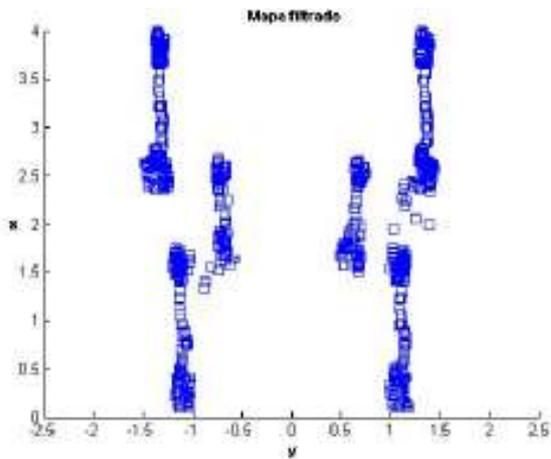


Fig. 6. Mapa del corredor con el algoritmo de SLAM implementado.

En la Fig. 7 se muestra el mapa probabilístico resultante correspondiente a la Fig. 6.

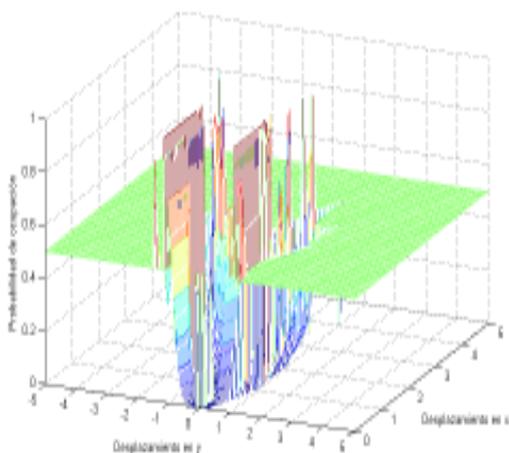


Fig. 7. Mapa Métrico Probabilístico del entorno mapeado.

En la Fig. 8 se puede observar una representación del mapa métrico durante el proceso de segmentación.

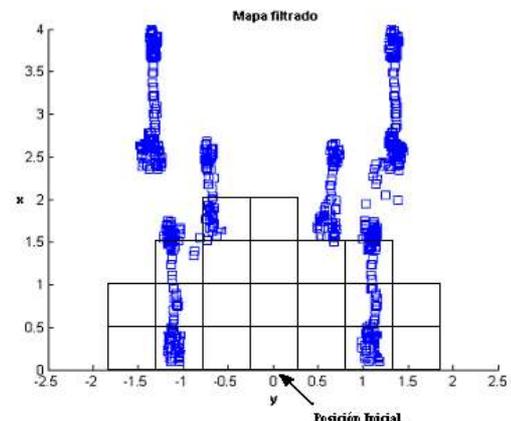


Fig. 8. Mapa métrico en proceso de segmentación.

La Fig. 9 muestra el mapa segmentado definitivo.

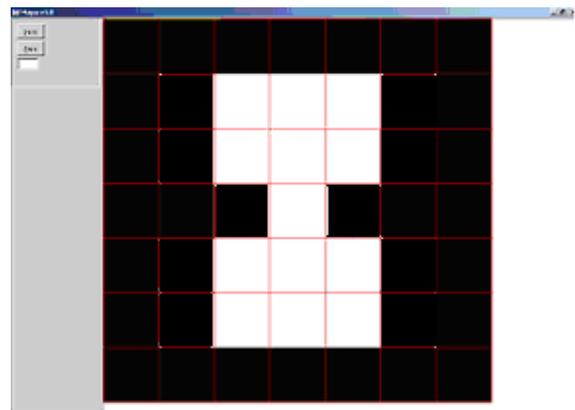


Fig. 9. Representación segmentada del mapa de la Fig. 8.

El mapa segmentado de la Fig. 9, es el que le permitirá luego al usuario, planificar trayectorias de navegación dentro de ese entorno. Cada bloque blanco dentro de este mapa, representa un espacio de 50 x 50 cm con probabilidad de ocupación menor a 0.5, es decir, está libre de ocupación; cada bloque negro, representa un espacio con probabilidad de ocupación mayor a 0.5. Todos los bloques poseen las mismas dimensiones. Esto se puede ver en (Secchi et al., 2003).

5. CONCLUSIÓN

La implementación de una función de mapeo y localización simultáneas dentro del panel de control de la interface que gobierna al robot móvil otorga al usuario mayor independencia del medio donde se encuentra. El mapa segmentado que se obtiene luego de finalizar el mapeo, se incorpora al panel de control, permitiendo la generación de trayectorias dentro de dicho entorno. La generación de trayectorias está también gobernada por la ICC implementada.

Los algoritmos de mapeo y localización simultáneas funcionan en línea y no se restringen a los sensores de ultrasonido del robot móvil. El proceso de segmentación es realizado fuera de línea.

Como trabajo futuro se propone el mejoramiento del algoritmo de SLAM para mapas dinámicos y la

incorporación de algoritmos de reconocimiento de entornos sin la intervención del usuario. Esta función permitiría el despliegue automático del mapa una vez que el autómata hubiera reconocido el entorno en que se encuentra.

REFERENCIAS

- Auat Cheeín, F. A. (2005). *Diseño de una Interface Cerebro Computadora para la Navegación de un Robot Móvil*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de San Juan, Argentina.
- Bailey, T. (2002). *Mobile Robot Localization and Mapping in Extensive Outdoor Environment*. Tesis de Doctorado. Australian Centre for Fields Robotics, The University of Sydney.
- Bazarrica Ochoa, J. (2002). *EEG Brain Classification for Brain Computer Interface Applicatios*, Ecole Polytechnique Federale de Lusanne.
- Elfes, A. (1987). Sonar-Based Real-World Mapping and Navigation. *IEEE Journal of Robotics and Automation*, vol. **RA-3**, nº 3.
- Ferreira, A., Bastos-Filho, T. F., Sarcinelli-Filho, M., Auat Cheeín, F. A., Postigo, J. F., Carelli, R. (2006). *Teleoperation of an Industrial Mnipulator Through a TCP/IP Channel Using EEG Signals*. En: ISIE2006, Montreal, Canadá.
- Neto, A. F., Auat Cheeín, F. A., Celeste, W. C., Toniolo, C. C., Bastos-Filho, T. F., Carelli, R. (2006b). *Navegação de um veículo móvel a rodas em Ambientes Mapeados Utilizando Tabuleiro Eletrônico com Varredura Automática*. IBERDISCAP2006. Espírito Santo, Brasil.
- Neto, A. F., Celeste, W. C., Martins, V. R., Bastos-Filho, T. F., Sarcinelli-Filho, M. (2006a) *Human-Machine Interface Based on Electro-Biological Signals for Mobile Vehicles*. En: ISIE2006, Montreal, Canadá.
- Newman, P. M. (1999). *On the Structure and Solution of the Simultaneous Localization and Map Building Problem*. Master Thesis. Australian Centre for Field Robotics. The University of Sydney.
- Secchi, H., Carelli, R., Mut, V. (2003). *An Experience on Stable Control of Mobile Robots*. Latin American Applied Research, Buenos Aires (Argentina). Vol. **33**, No. 4, pp. 379-385.
- Teplan, M. (2002). *Fundamentals of EEG Measurement*, Measurement Science Review, Volume 2, Section2.
- Tirpak, T., Kadluczka, M., Xiao, W., Nelson, P. (2004). *A Signal Processing Platform for Brain-Computer Interface Optimization*. Motorola General Business Information.