



V CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA APLICADA A CIENCIAS DE LA SALUD

5, 6 y 7 de junio de 2014

TONANTZINTLA, PUEBLA, MÉXICO

EVALUANDO LA ADQUISICIÓN DE UNA NUEVA HABILIDAD A PARTIR DE SEÑALES ELECTROENCEFALOGRÁFICAS

Mauricio Ramírez y Dania Gutiérrez,

Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN

Unidad Monterrey, Apodaca, N.L.,

mramirez@cinvestav.mx, dgtz@ieee.org

RESUMEN:

Cuando se trata de evaluar cuantitativamente el aprendizaje de una tarea, las métricas más utilizadas son el tiempo de ejecución y el número de errores cometidos durante un proceso de entrenamiento de dicha tarea. Sin embargo, no existe una métrica que corrobore con certeza si el sujeto realmente asimiló la tarea y entonces se dio un aprendizaje. Es por eso que se propone desarrollar un modelo que relacione cambios en la actividad cerebral medida a partir de electroencefalografía (EEG) con el proceso de aprendizaje. En nuestro caso, la nueva habilidad a aprender consiste en la escritura utilizando un teclado Colemak, el cual corresponde a una distribución de teclado alternativa a la QWERTY. Cuatro sujetos realizaron doce lecciones (una diaria repetida cinco veces) con dificultades que aumentaban progresivamente lección a lección y a través de las cuales aprendieron a teclear en la computadora utilizando Colemak. El tiempo de cada repetición fue registrado para comprobar la mejora en la destreza del sujeto. Las señales de EEG se adquirieron durante las lecciones 4, 8 y 11 utilizando el equipo B-Alert, el cual es un sistema inalámbrico con nueve canales de medición de la actividad cerebral. Para cada señal, se analizaron sus diferentes ritmos de actividad cerebral, específicamente las bandas alfa, beta, delta, theta y gamma. Tras realizar pruebas estadísticas para evaluar diferencias entre las mediciones de la primera y la última repetición de una lección, en todos los sujetos se observaron cambios significativos en las amplitudes de las bandas beta (13 a 24 Hz) y gamma (24 a 40 Hz) para diversos canales. En base a estos resultados, proponemos que el modelo a desarrollar estará basado en monitorear los cambios de las bandas beta y gamma durante el proceso de aprendizaje.

1. INTRODUCCIÓN

Existe un problema en los métodos utilizados para la evaluación de la adquisición de una nueva habilidad o el aprendizaje de una tarea: la mayoría utiliza métricas que sólo representan de manera superficial aspectos de este aprendizaje, tales como el tiempo de ejecución y número de errores cometidos en dicha tarea. La electroencefalografía (EEG) es una técnica que permite adquirir en tiempo real señales eléctricas en un amplio rango de frecuencia provenientes de la corteza cerebral con electrodos posicionados en diferentes localizaciones de la cabeza. Estas señales pueden ofrecer indicios más directos en el progreso del aprendizaje, ya que en investigación es común utilizarlas para demostrar actividad cerebral característica en diferentes procesos fisiológicos. En los últimos años se han investigado los beneficios de la retroalimentación de actividad cerebral (Neurofeedback) y se ha demostrado [4; 6] que esto puede ayudar a sujetos a mejorar su desempeño en alguna tarea específica y otorga cierto grado de control sobre su actividad cerebral. Estos efectos positivos podrían ser potenciados si en la retroalimentación se integra un criterio que evalúe con certeza si el sujeto está teniendo un aprendizaje. Debido a la inconsistencia en las métricas utilizadas para evaluar este aprendizaje, se propone desarrollar un modelo que



V CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA APLICADA A CIENCIAS DE LA SALUD 5, 6 y 7 de junio de 2014 TONANTZINTLA, PUEBLA, MÉXICO

relacione cambios en la actividad cerebral con el proceso de adquisición de habilidades para ampliar el criterio de evaluación y ofrecer una posible integración en la técnica de Neurofeedback.

2. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para demostrar que la actividad cerebral puede dar indicios sobre el proceso de aprendizaje se siguió la siguiente metodología: Cinco voluntarios participaron en el aprendizaje de escritura en Colemak (figura 1), una distribución de teclado alternativa a la QWERTY. Los voluntarios tomaron una lección diaria [2] hasta completar doce, en las que la dificultad aumentaba progresivamente, así como la cantidad de teclas a utilizar. Dichas lecciones consistían en escribir una serie de palabras con la nueva distribución, cada lección era repetida cinco veces y se pedía a los voluntarios registrar el tiempo que les tomaba realizar cada repetición con un cronómetro, para comprobar el aprendizaje. El registro de los tiempos de cada voluntario fue utilizado para construir una curva de aprendizaje en donde se observa el porcentaje de tiempo que se redujo desde la primera a la quinta repetición por cada sujeto.

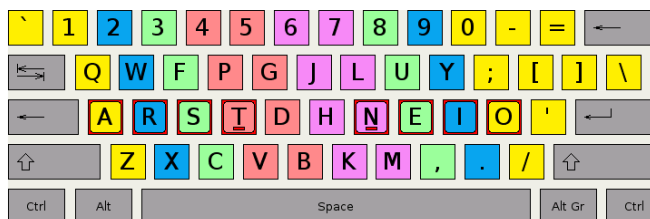


Figura 1. Distribución de teclado Colemak. Para propósitos de esta investigación, los voluntarios solo utilizaron las teclas con letras en las diferentes lecciones.

Se realizaron tres mediciones EEG por voluntario, específicamente en las lecciones 4, 8 y 11 para obtener actividad cerebral representativa de etapas de aprendizaje inicial, intermedio y avanzado respectivamente. Las señales fueron adquiridas a una frecuencia de muestreo de 256 Hz con el equipo inalámbrico B-Alert [1] el cual cuenta con nueve canales (Fz, F3, F4, Cz, C3, C4, POz, P3, P4) para medición de actividad cerebral. Cabe mencionar que el equipo que utilizamos clasifica la atención que un sujeto está poniendo en una tarea durante el registro EEG [5]. Para asegurar que los cambios en actividad cerebral son debidos a un proceso de aprendizaje, se descartaron los datos en que el equipo detectó que el sujeto estaba distraído o no estaba poniendo atención. Este equipo además procesa las señales obtenidas y muestra como salida la densidad espectral de potencia (PSD) para cada canal y banda de frecuencia. La PSD proporciona una noción de la actividad eléctrica cerebral en las diferentes bandas (alfa, beta, gamma, theta, delta). Una vez obtenidas estas señales, se hizo un análisis para saber si hubo cambios estadísticamente significativos en la PSD entre la primera y quinta repetición de la lección donde se hizo el registro. La prueba estadística utilizada fue una prueba t de Student de dos muestras (con un nivel de significancia $p=0.01$) que evalúa la diferencia significativa entre las medias de dos grupos de datos. Posteriormente se construyó una matriz de representación de tres dimensiones (9 canales x 5 bandas de frecuencia x 3 lecciones) para representar gráficamente los cambios en las medias de PSD entre primera y quinta repetición de las lecciones asignando un valor diferente para tres casos particulares: 1 cuando hubo un aumento en la PSD comparando las repeticiones mencionadas, -1 cuando hubo una disminución y 0 cuando no hubo cambios estadísticamente significativos.



V CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA APLICADA A CIENCIAS DE LA SALUD
5, 6 y 7 de junio de 2014
TONANTZINTLA, PUEBLA, MÉXICO

Asimismo, con los datos obtenidos se construyeron gráficas que permiten apreciar fácilmente los cambios en la PSD representados en las matrices mencionadas anteriormente.

3. RESULTADOS

En la figura 2 se puede observar que la mayoría de los sujetos, para el quinto y último intento, consiguieron reducir el tiempo que les tomaba desarrollar la lección de entre 5% y hasta casi 60% en comparación con el tiempo que les tomó en el primer momento. Uno de los sujetos mostró dificultad al desarrollar las primeras lecciones, por lo que en la figura 2 muestra porcentajes negativos que indican un aumento en el tiempo que le tomó desarrollar la lección.

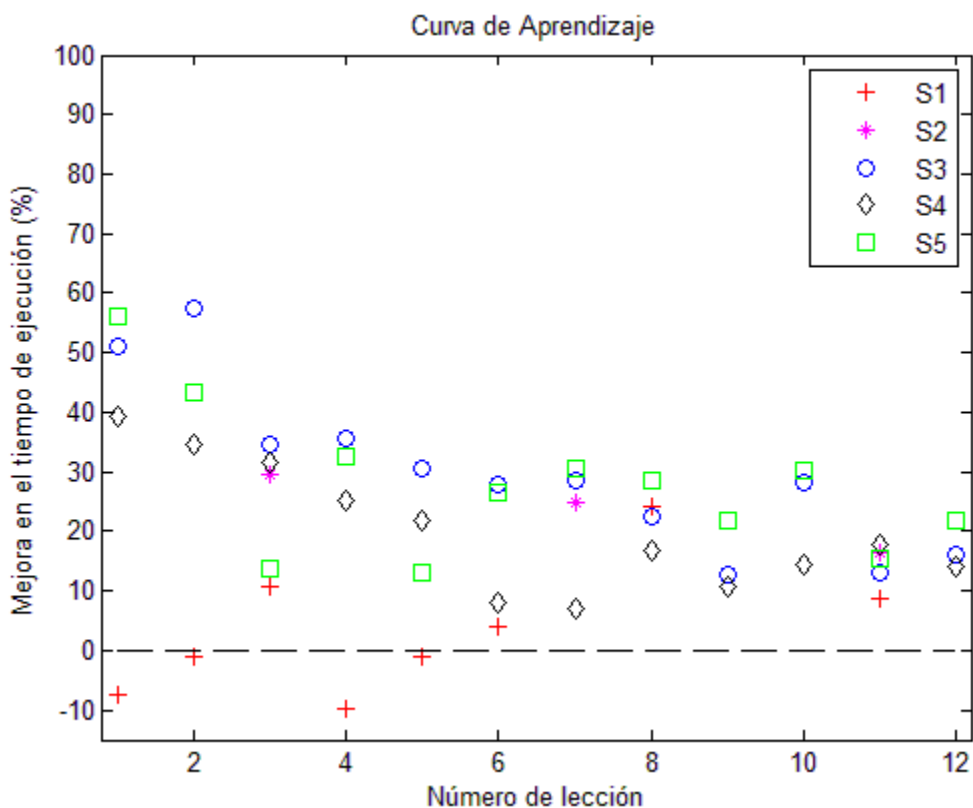


Figura 2. Curva de aprendizaje, se representa la reducción de tiempo en porcentaje para los diferentes sujetos entre la primera y quinta repetición de cada lección.

De la misma manera, se observa que los sujetos consiguieron una reducción máxima de tiempo alrededor de 50% en las primeras lecciones y a medida que la dificultad de la lección aumentaba, el tiempo de reducción de cada sujeto disminuía, aproximadamente a 30% para lecciones de dificultad intermedia y 20% para dificultad avanzada. Aún para las últimas lecciones había una reducción en los tiempos de ejecución, lo que sugiere que los sujetos consiguieron un aprendizaje sobre la escritura en Colemak a medida que se tenía más práctica sobre la misma.

V CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA APLICADA A CIENCIAS DE LA SALUD
 5, 6 y 7 de junio de 2014
 TONANTZINTLA, PUEBLA, MÉXICO

Después de analizar estadísticamente las diferencias en PSD, se encontró que las bandas de frecuencia alfa (α), theta (θ) y delta (δ) no demostraron cambios significativos en la mayoría de los sujetos independientemente del canal o medición en que se hacía el análisis. Sin embargo, todos los sujetos presentaron cambios significativos de PSD (tanto aumentos como decrementos) en las bandas beta (β) y gamma (γ). En las figuras 3 y 4 se presentan la matriz de representación y las PSD de un sujeto representativo (S5) y posteriormente se hace una comparación entre ellas para una mejor interpretación de los datos obtenidos.

0	-1	0	-1	0	0	1	0	0	0	***	1	-1	0	-1	0
1	-1	0	-1	1	0	1	0	1	1		0	-1	0	-1	1
0	-1	0	-1	1	0	1	0	0	0	***	1	-1	0	-1	1
0	0	0	0	0	0	1	0	1	0		0	0	0	0	0
0	-1	0	-1	1	1	1	0	1	0		0	-1	0	-1	0
0	0	0	-1	1	0	1	0	1	0		0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	0	1	0	1	0		0	-1	0	-1	0
0	-1	0	-1	0	0	1	0	1	0		1	-1	0	-1	0
0	-1	0	-1	0	0	1	0	1	0		1	-1	0	-1	0

Figura 3. De izquierda a derecha las matrices representan la primera, segunda y tercera medición de un sujeto representativo. Las filas son los nueve canales de EEG en orden: POz, Fz, Cz, C3, C4, F3, F4, P3, P4. Las columnas representan las cinco bandas de frecuencia en orden: α , β , δ , γ , θ .

La mayoría de sujetos presentaban 1 y -1 en las columnas 2 y 4, lo que indica cambios significativos positivos y negativos en la PSD de las bandas beta y gamma. Se puede observar comparando las figuras 3 y 4 que los 1 (*) de las matrices corresponden a incrementos de PSD entre la primera y quinta repetición ($PSD5 > PSD1$), los -1 (**) se presentan en decrementos de PSD ($PSD5 > PSD1$) y los 0 (***) donde no se observa un cambio estadísticamente significativo.

Los asteriscos en las figuras permiten relacionar los valores de las matrices de representación con los cambios en las PSD observadas en las gráficas. Las señales EEG del sujeto presentado sugieren que hay indicios sobre el aprendizaje de nuevas habilidades en las dos bandas de frecuencia anteriormente mencionadas, presentándose como aumento o disminución de actividad cerebral. Este mismo comportamiento de las PSD se observó en todos los sujetos, lo que nos permite descartar el futuro análisis de las bandas de frecuencia donde no se presentaron cambios estadísticamente significativos, para simplificar el modelo de evaluación analizando las dos bandas de frecuencia donde hay un cambio evidente de actividad.

V CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA APLICADA A CIENCIAS DE LA SALUD
5, 6 y 7 de junio de 2014
TONANTZINTLA, PUEBLA, MÉXICO

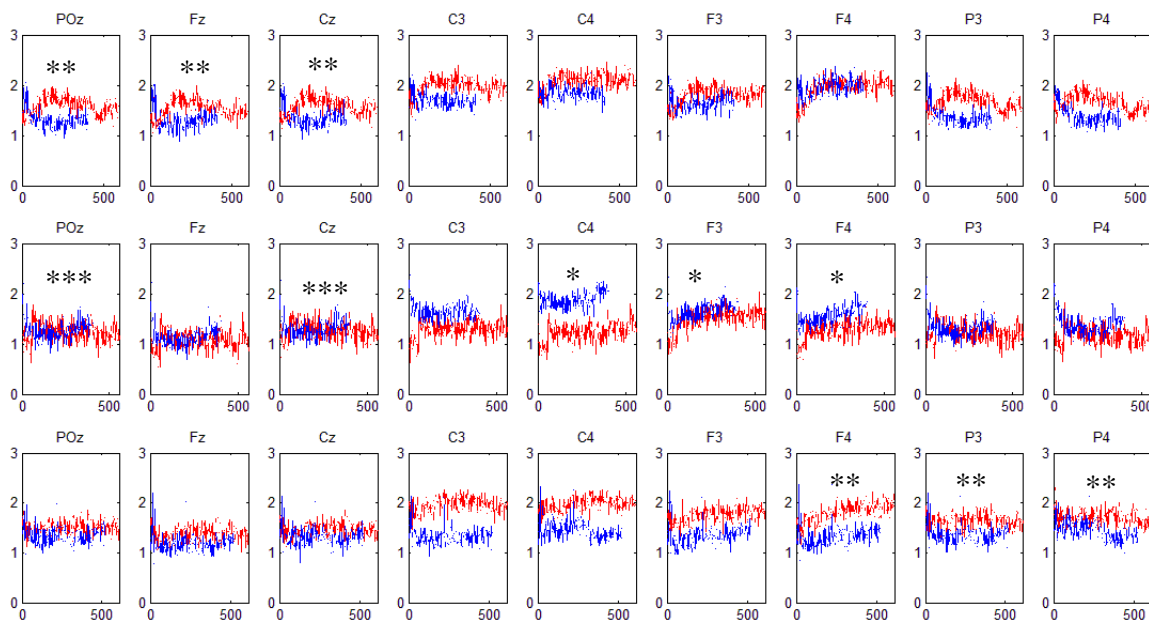


Figura 4. Cambios de PSD del mismo sujeto a través del tiempo entre la primera (roja) y última (azul) repetición para diferentes canales de EEG en la banda gamma. Cada fila de gráficas corresponde a una lección diferente (4, 8 y 11 respectivamente).

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos hasta ahora son solamente la primera parte de la investigación, y son de gran importancia ya que con ellos se puede concluir que la evaluación de la adquisición de habilidades utilizando EEG puede basarse en los cambios de actividad en las bandas beta y gamma, al no observar cambios de actividad en las demás bandas analizadas. La siguiente parte de la investigación se enfocará en algunas cuestiones que no se tocaron como la diferencia entre el aumento o disminución de actividad cerebral, la localización donde estos cambios son más evidentes y la manera en que estos cambios se comportan no solo comparando contra repeticiones de la misma lección sino contra el progreso de las lecciones, además de analizar si todo lo mencionado anteriormente es general en distintos sujetos. Esto se comprobará mediante comparaciones múltiples entre las variables mencionadas, lo que nos permitirá tener más conocimiento sobre el proceso de adquisición de habilidades y proponer un mejor criterio para evaluar este progreso. Los resultados presentados en este resumen nos acercan más al modelo a desarrollar para la evaluación de nuevas habilidades.

BIBLIOGRAFÍA

1. *Advanced Brain Monitoring*. (2014). Retrieved from <http://advancedbrainmonitoring.com/>
2. Colemak. (2014). *Colemak keyboard layout*. Retrieved from http://colemak.com/wiki/index.php?title=Typing_lessons
3. E. Niedermeyer, F. d. (2004). *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields*. Lippincot Williams & Wilkins.



V CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA APLICADA A CIENCIAS DE LA SALUD

5, 6 y 7 de junio de 2014

TONANTZINTLA, PUEBLA, MÉXICO

4. Marco Congedo, J. F. (2004). Low-Resolution Electromagnetic Tomography Neurofeedback. *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering*.
5. Robin R. Jhonson, D. P. (2011). Drowsiness/alertness algorithm development and validation using synchronized EEG and cognitive performance to individualiza a generalized model . *Biological Psychology*.
6. Tomas Ros, M. J. (2009). Optimizing microsurgical skills with EEG Neurofeedback. *BMC Neuroscience*.