

Diseño e implementación del sistema de control para una silla de ruedas motorizada mediante señales EOG

Autor: Jayro Martínez

Supervisor externo: Dr. Ujwal Chaudhary

Supervisores académicos: Dr. Esteban Vegas

Dr. Ferran Reverter

- Existen diferentes afecciones que pueden condicionar la capacidad de un paciente para utilizar una silla de ruedas motorizada.
- La Esclerosis Lateral Amiotrófica (ELA) tiene una prevalencia de 4.8 por cada 100.000 habitantes y una incidencia de 1.67 por cada 100.000 habitantes al año.
- Se caracteriza por una pérdida progresiva de respuesta motora.
- Una Human-Computer Interface basada en el movimiento ocular puede ser una solución adecuada.

Electrooculografía (EOG):

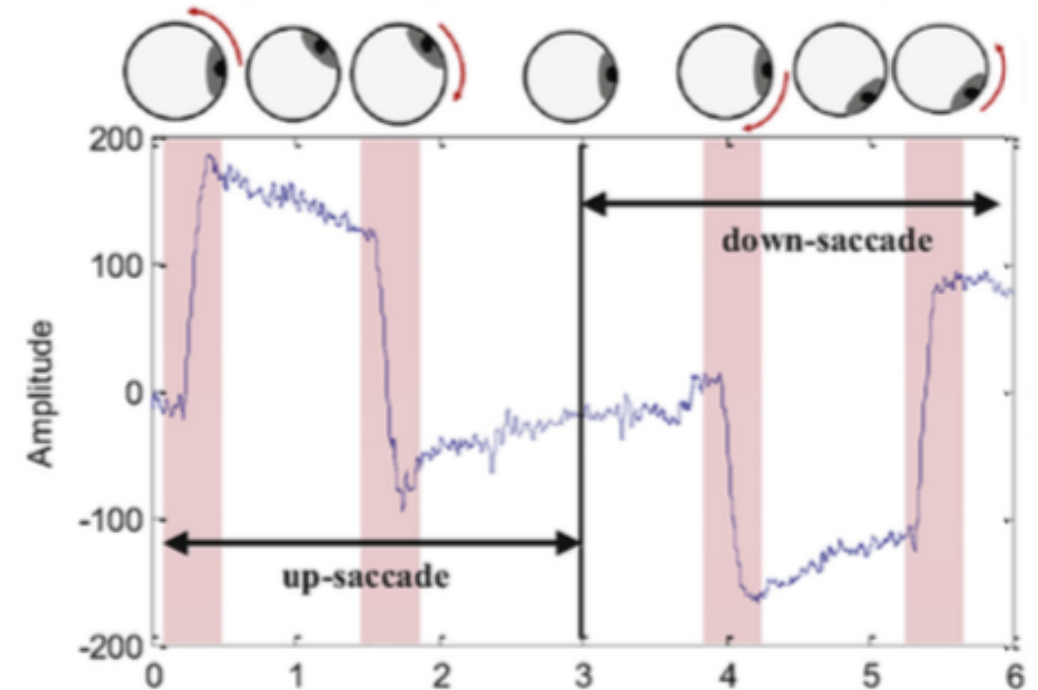
- No limita la visión del paciente, de uso fácil y no invasiva.
- Se dan cambios en la señal por la luz ambiental, pueden existir diferentes elementos que contaminen la señal y el equipamiento tiene un elevado coste.

Oculografía por reflexión infrarroja (IROG):

- Gran resolución y valor base estable.
- Puede que obstruya el campo visual y presenta interferencias por la luz ambiente.

Sistemas basados en la visión:

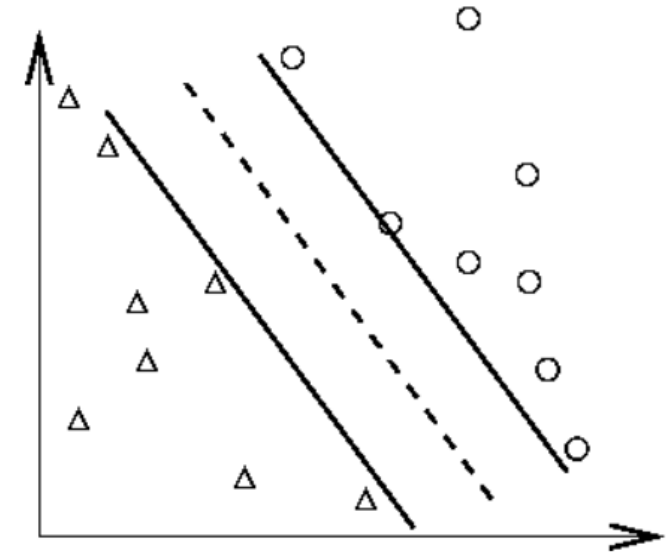
- Útil en un rango amplio de movimientos, se trata de un sistema intuitivo y permite libertad de movimientos de la cabeza.
- Presenta una frecuencia de adquisición baja, puede obstruir la visión y en caso de que el sistema vaya fijado a la cabeza puede ser incomodo de utilizar.



- El objetivo de las Interfaces Humano – Computador (HCI) es el de traducir las entradas generadas por el usuario en comandos para el ordenador.
- Existen finalidades muy diversas para las que se pueden utilizar.
- Se pueden clasificar en función de la naturaleza de las señales de las que hacen uso.



- Las máquinas de vector soporte (SVMs) son la técnica más utilizada en Human-Computer Interfaces.
- Tratan de encontrar una frontera que separe los datos de entrenamiento en dos grupos.
- Para ello buscan una muestra de puntos en cada grupo.
- Esta frontera permite decidir la pertenencia de nuevos datos.



- No todos los datos son linealmente separables. Para resolver este problema se introducen las funciones *kernel*.
- Las SVMs fueron creadas para separar datos en dos grupos. Si se quieren separar en más grupos se pueden utilizar las estrategias *Uno contra Todos* o *Uno contra Uno*.
- Para mejorar la clasificación resultante se utiliza la técnica llamada validación cruzada o *cross-validation*.

- Para alimentar el clasificador se deben calcular las características de la señal, reduciendo la dimensionalidad de los datos sin perder información.
- Para ello se han modelado basados en diferentes soluciones:
 - Encontrar las características estadísticas de la señal y sus picos.
 - Encontrar los picos en la señal.
 - Utilizar la primera derivada.
 - Basándose en un umbral y el valor de la señal.

- Crear un sistema de control alternativo para las personas con problemas de movilidad. Este sistema debe ser rápido, fiable, portable y tan económico como sea posible. Para ello deberemos implementar dos subsistemas:
 - Un subsistema para la adquisición, el pre-procesado y la correcta clasificación de las señales EOG.
 - Un subsistema para el control de la silla de ruedas.

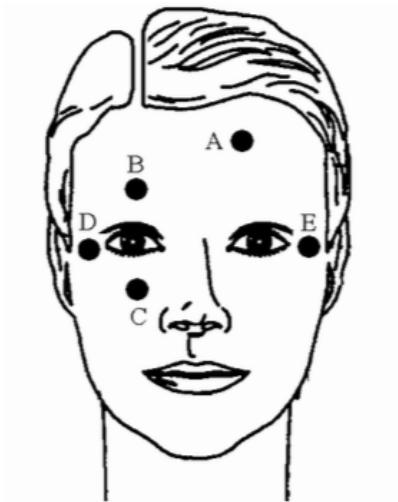
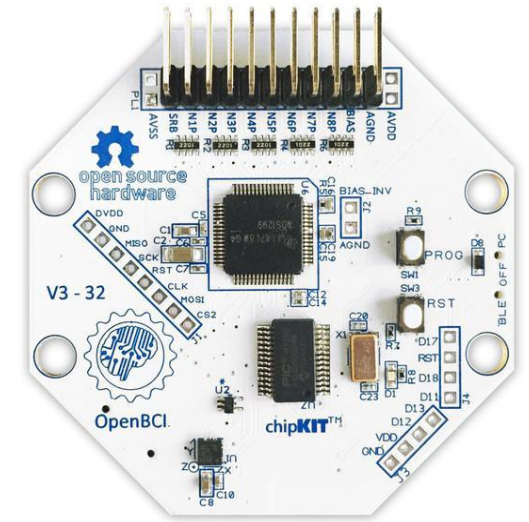
- Todo nuestro sistema se basa en la placa

Raspberry Pi 3B+:

- Procesador quad-core @1.4Ghz.
 - 1 GB RAM.
 - Almacenamiento en tarjeta SD.
 - Permite instalar una distribución Linux.
 - Precio reducido.
-
- Hemos elegido Python como lenguaje de programación debido a:
 - Gran cantidad de librerías existentes.
 - Sólida comunidad para este lenguaje.
 - Compatibilidad con el sistema de adquisición de señales.



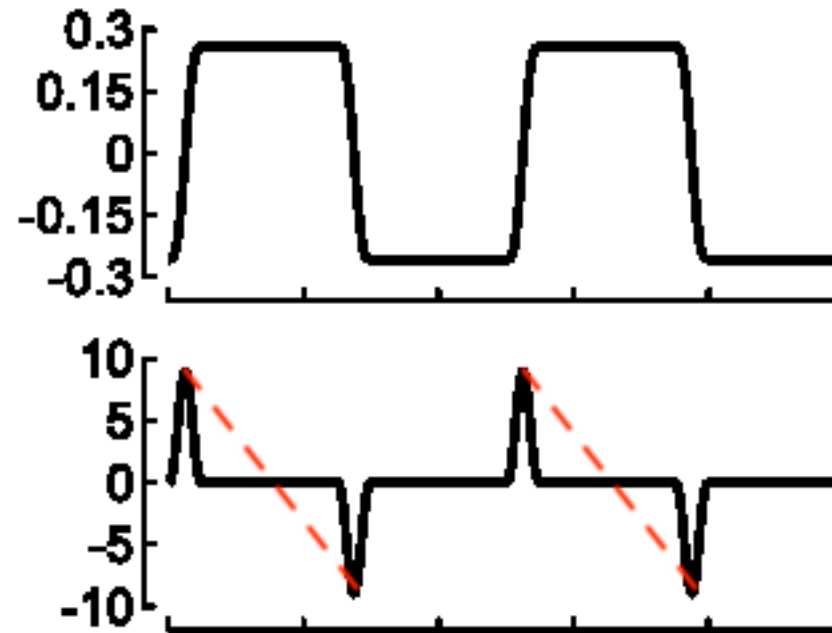
- El protocolo utilizado para adquirir las señales consta de:
 - 5 bloques de 15 muestras por cada una de las 4 acciones.
 - Cada muestra es de 3 segundos.
 - Se presentan 5 muestras de ejemplo para “entrenamiento” del usuario.



- Para adquirir la señal se ha utilizado:
 - Placa OpenBCI Cyton de 8 canales.
 - 4 electrodos húmedos.

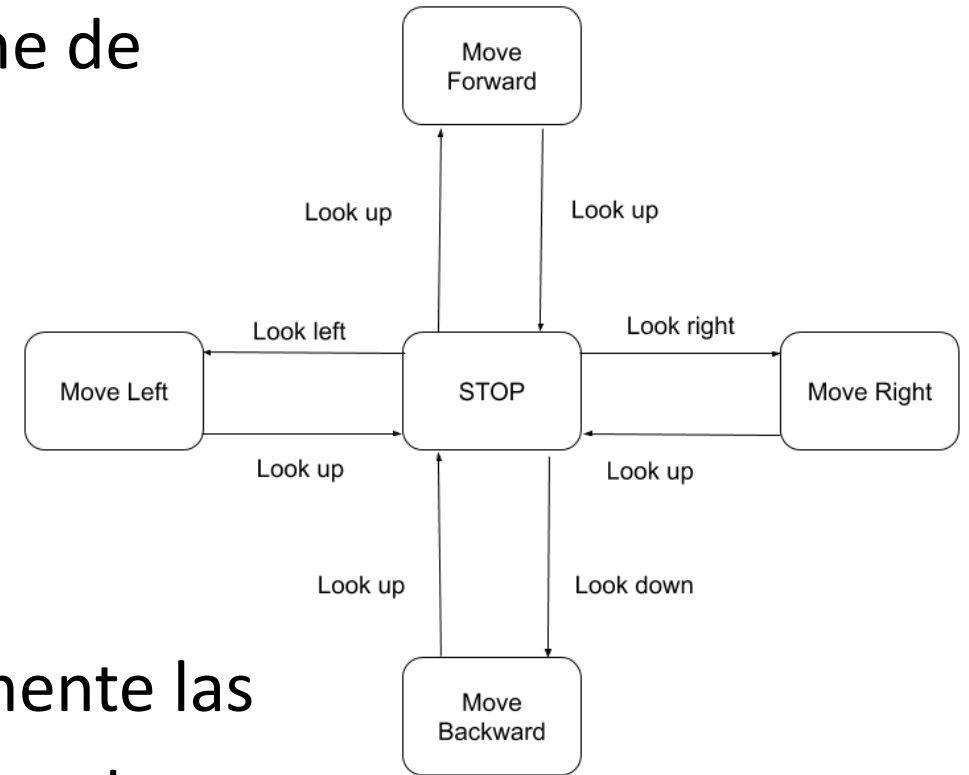
- Al adquirir las señales EOG aparece ruido en la señal debido al movimiento de los electrodos, la señal de alimentación del hardware de adquisición, movimientos de cabeza,...
- Hemos aplicado un filtro pasabanda de Butterworth de orden 2 entre 0.03 y 20 Hz.
- Posteriormente se ha aplicado un filtro de suavizado.
- Para finalizar se aplica una estandarización de cada muestra.
- En este apartado hemos hecho uso de la librería SciPy.

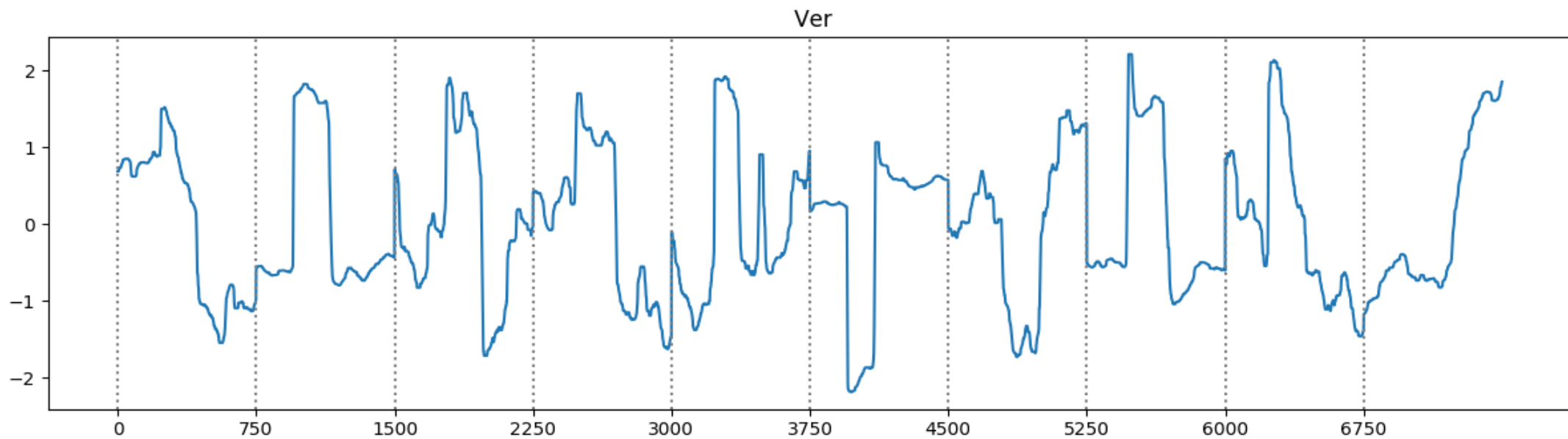
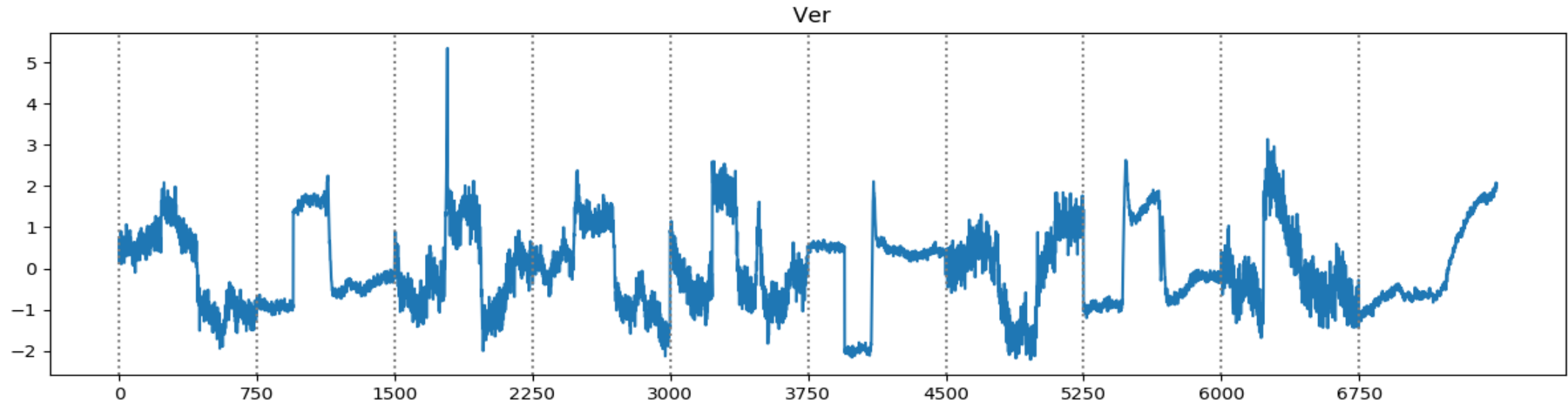
- Se han calculado 12 características para la señal en cada una de las componentes:
 - Mínimo
 - Máximo
 - Mediana
 - Moda
 - Kurtosis
 - Posición del Máximo
 - Posición del Mínimo
 - Área bajo la curva
 - Primer cuartil
 - Tercer cuartil
 - Rango intercuartílico
 - Pendiente de la derivada

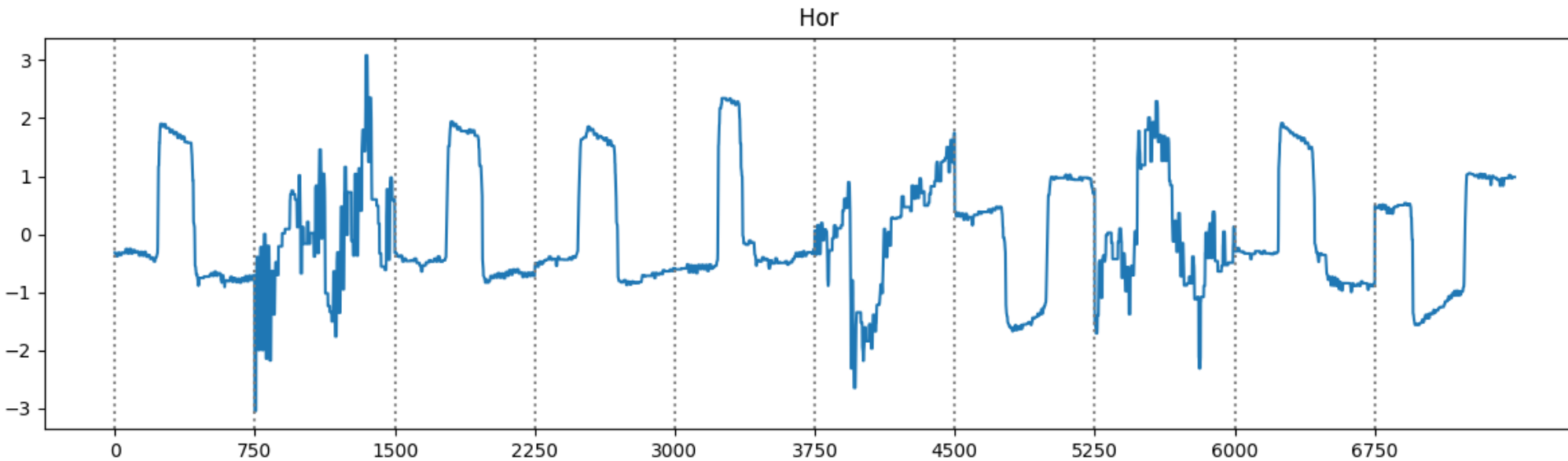
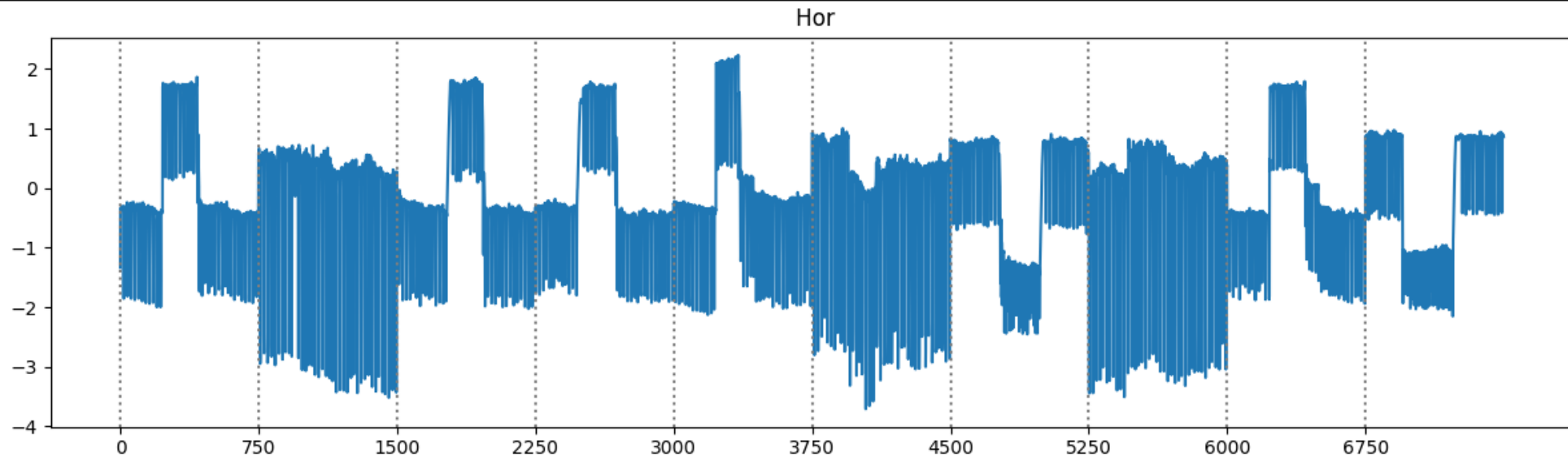


- Para la clasificación se ha decidido utilizar SVMs por su simplicidad en comparación con otros sistemas.
- Se ha utilizado un *kernel* lineal y un parámetro $C = 0.75$.
- La estrategia elegida ha sido *Uno contra Todos* con validación cruzada de 5 grupos.
- La librería utilizada ha sido Scikit-learn.

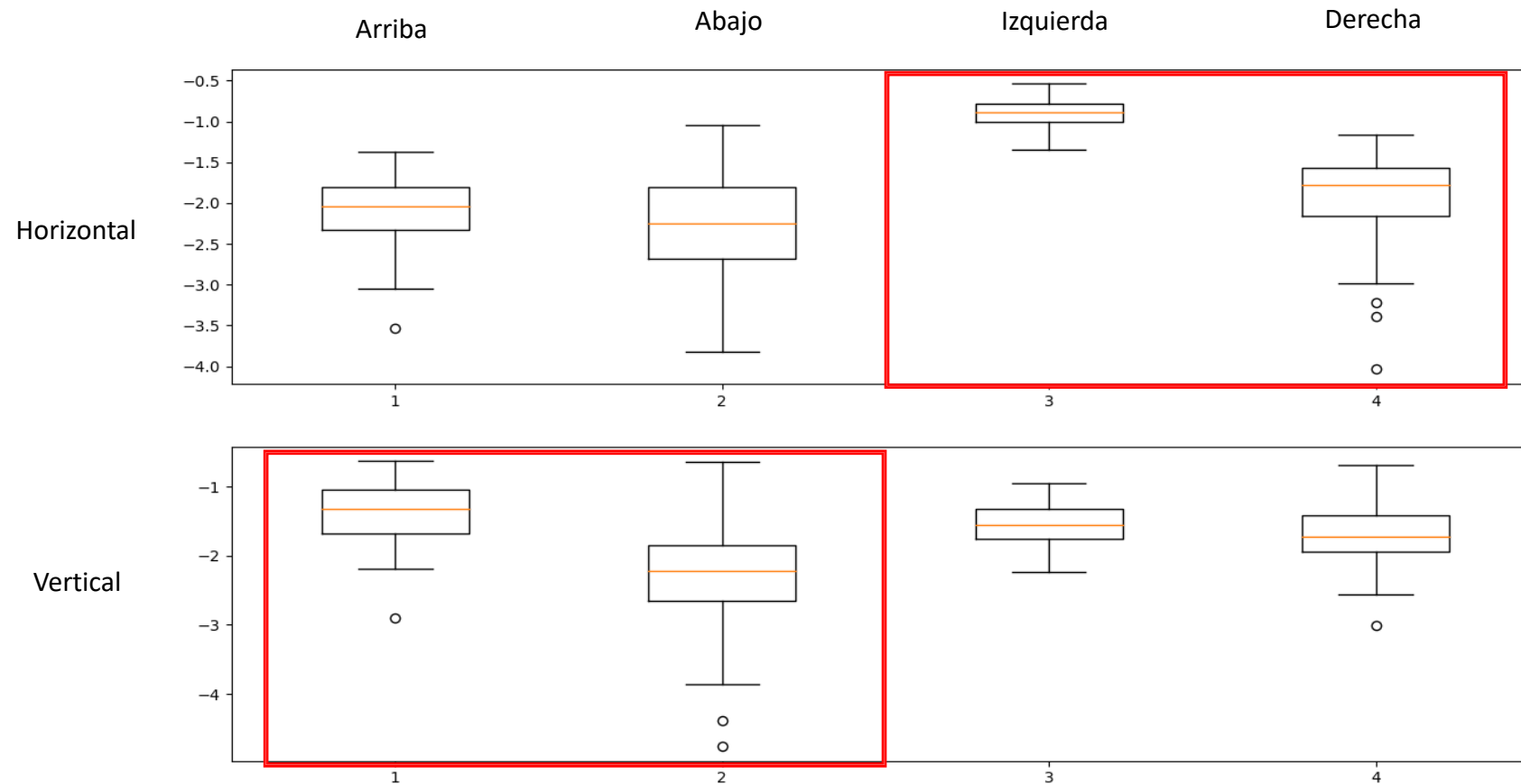
- Nuestro paradigma de control se compone de 5 estados. Las transiciones entre estados se realizan en función de la acción realizada por el usuario.
- El paradigma elegido implica un sistema de movimientos continuos.
- No se han podido caracterizar completamente las señales de control por lo que el subsistema de control no se ha implementado.



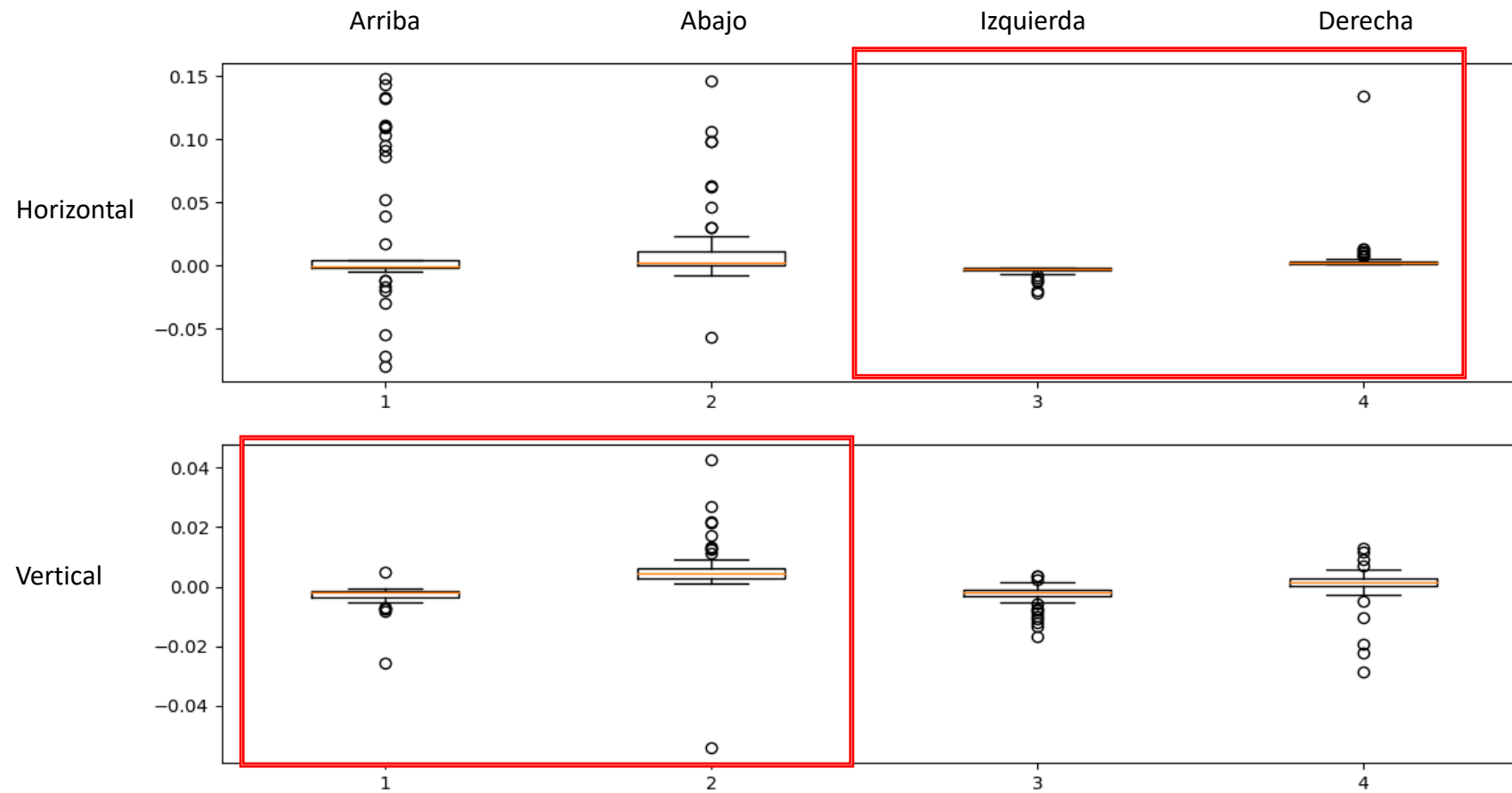




- Algunas de las características extraídas muestran diferencias significativas para cada movimiento.



- Otras de las características no muestran diferencias significativas.



- Tras el proceso de clasificación hemos obtenido una precisión máxima del 98%. A continuación se muestran algunos de los resultados:

Frecuencias	Orden	Kernel	Estrategia	C	Mínimo	Máximo	Promedio
0.01 - 20	2	Lineal	Uno - Uno	1	0.52	0.92	0.82
0.03 - 20	2	RBF	Uno - Uno	1.25	0.44	0.60	0.54
0.03 - 20	2	Poly - 3	Uno - Uno	0.75	0.40	0.60	0.52
0.1 - 20	2	Lineal	Uno - Uno	1	0.54	0.92	0.80
0.03 - 20	4	Lineal	Uno - Uno	1	0.63	0.92	0.79
0.03 - 20	2	Lineal	Uno - Todos	0.75	0.92	0.98	0.93

- En el presente proyecto se presenta un sistema de adquisición, pre-procesado y clasificación de señales EOG capaz de alcanzar un 98% de precisión a la hora de clasificar los movimientos de *mirar arriba, abajo a izquierda y derecha*. Este sistema hace uso de hardware con un precio ajustado, de reducido tamaño y ligero, capaz de ser instalado en una silla de ruedas.
- Para finalizar con los objetivos propuestos debemos:
 - Realizar una correcta caracterización de la señal de control de la silla de ruedas.
 - Escribir el código necesario para una adquisición y clasificación *online* de la señal.
 - Encontrar el dispositivo hardware que nos permita entregar el voltaje adecuado para el mencionado control.
 - Escribir el código correspondiente al sistema de control.
- Como tareas para una posible mejora del sistema se proponen:
 - Eliminar las características de la señal que no aporten información relevante.
 - Tratar de encontrar características nuevas.
 - Intentar optimizar el proceso de filtrado.